Библиотека СОК

А. С. БЕЛИЦКИЙ, В. В. ДУБРОВСКИЙ

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ*
*(ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ)*

## *ОГЛАВЛЕНИЕ*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1974

УДК 628.112.4

**Белицкий А. С., Дубровский В. В.** Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. Изд. 3, перераб. и доп. М., «Недра», 1974. 256 стр.

В книге изложены основные вопросы проектирования разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения и орошения.

Даны рекомендации по выбору водоносного горизонта и участка для бурения в различных гидрогеологических и санитарных условиях, выбору способа бурения, конструкции скважин и насоса для эксплуатации.

Настоящее издание существенно переработано и дополнено. В нем приведены новые данные о ресурсах и использовании подземных вод, а также о влиянии источников загрязнения на состав вод при эксплуатации скважин.

Это издание дополнено техническими сведениями о новейших насосах и новых буровых станках; рассмотрены особенности проектирования скважин для бурения с обратной промывкой; приведены некоторые данные для проектирования глубоких скважин; значительно расширен раздел об ошибках, допускаемых при проектировании; даны примеры из практики бурения скважин за рубежом.

Книга предназначена для инженеров-гидрогеологов, буровиков и других специалистов, занимающихся вопросами проектирования, бурения и эксплуатации скважин на воду.

Табл. 42, ил. 72, список лит. — 140 назв.

Б $\frac{20806-253}{043(01)-74}$ 197—74

© Издательство «Недра», 1974.

# ПРЕДИСЛОВИЕ

*В девятом пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР для удовлетворения потребностей водоснабжения и орошения предусмотрено значительное увеличение объема работ по бурению разведочно-эксплуатационных скважин. В отличие от групповых подземных водозаборов сооружение разведочно-эксплуатационных скважин имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при их проектировании и бурении. Однако не всегда в проектах этих скважин правильно отражаются указанные особенности, вследствие чего конструкции многих сооруженных скважин не соответствуют местным гидрогеологическим условиям. Это отрицательно сказывается на дебитах скважин и на качестве получаемой воды. Иногда при проектировании скважин недооцениваются интересы охраны и рационального использования водных ресурсов, санитарно-технические требования и технологические условия бурения. В некоторых проектах предусматриваются излишние, технически невыполнимые требования, а в некоторых, наоборот, они очень упрощены.*

*Как и в предшествующих изданиях, вышедших в 1964 и в 1968 гг. авторы этой книги ставят перед собой цель дать методическое пособие для гидрогеологов, инженеров и санитарных работников, занимающихся проектированием и бурением одиночных разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения и орошения. Основное внимание в книге уделяется обоснованию проектов одиночных разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения и орошения, а также требованиям, которым должны отвечать проекты бурения и опробования скважины в различных гидрогеологических и санитарных условиях.*

*В настоящем издании использованы материалы, полученные в последнее десятилетие в результате исследований, проведенных организациями Министерства геологии СССР, по оценке ресурсов подземных вод страны, а также данные, освещенные в опубликованных томах «Гидрогеология СССР». Это позволило расширить материал глав III, IV и V. Включены дополнительные сведения об использовании линз пресных вод пустынь. Приведены новые данные о влиянии источников загрязнения на качество и состав вод, полученных при эксплуатации скважин.*

*Это издание дополнено техническими сведениями о насосах, вошедших в серийное производство в последнее время, а также о новых буровых станках; рассмотрены особенности проектирования скважин, намечаемых для бурения новым прогрессивным способом с обратной промывкой; приведены некоторые сведения и данные для проектирования глубоких скважин; значительно расширен и дополнен примерами из практики раздел об ошибках, допускаемых при проектировании скважин; расширен раздел об откачках эрлифтами; приведены многочисленные примеры из практики бурения скважин за рубежом и т. д.*

*В книге подчеркивается необходимость индивидуального проектирования каждой одиночной скважины, а также подробно анализируется несостоятельность и недопустимость применения в этих целях метода типового проектирования. Кроме того, освещаются вопросы санитарного обоснования местоположения разведочно-эксплуатационных скважин и вопросы обоснования зон санитарной охраны.*

*Некоторые главы посвящены рассмотрению и применимости разных способов бурения в различных гидрогеологических условиях и проектированию рациональных конструкций скважин.*

*Главы III, IV, V и VII и параграфы 1 и 2 главы II этой книги написаны А. С. Белицким; главы I, VI, VIII, X, XI и XII и параграф 3 главы II — В. В. Дубровским, а глава IX и предисловие написаны авторами совместно.*

*ГЛАВА I*

# ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Хорошо выполненной в соответствии с проектом может считаться только та скважина, в которой принципиально правильная проектная схема конструкции, включая водоприемную часть, удачно сочетается со вскрытыми водоносными и водоупорными породами.

Из сказанного видно, что условия, обеспечивающие успех разведочно-эксплуатационного бурения на воду, следующие:

1) предварительный геолого-гидрогеологический разрез скважин должен быть возможно более близким к действительным условиям;

2) в процессе бурения и опробования необходимо своевременно принимать во внимание все отклонения от предположений и вносить в проект наиболее рациональные изменения.

Несмотря на очевидность строго дифференцированного индивидуального подхода к каждому отдельному проекту бурения и опробования разведочно-эксплуатационной скважины для водоснабжения, некоторые проектно-изыскательские и научно-исследовательские учреждения пытаются разработать типовые проекты скважин для водоснабжения и орошения.

До недавнего времени считалось закономерным использование типовых проектов при строительстве почти всех наземных сооружений. Однако применение таких проектов в промышленности и в гражданском строительстве далеко не всегда оправдано.

Строительство наземных сооружений нельзя отождествлять с разведочно-эксплуатационным бурением на воду, которое является не строительной, а комплексной горно-буровой работой. При выполнении этой работы одновременно с гидрогеологической разведкой и производственным экспериментированием в натуре создается постоянно действующее инженерное сооружение, оптимальные параметры которого нередко больше зависят от полученных экспериментальных данных, чем от проектных.

Следовательно, если в строительстве применение типового проектирования наряду с многочисленными недостатками все же имеет некоторые преимущества (например, ускорение самого процесса проектирования), то механическое перенесение этого метода в совершенно иную область только усугубляет его недостатки.

Скважины для водоснабжения бурят преимущественно роторным и ударно-канатным способами, реже применяется вращательный

способ с обратной промывкой. Конструкции скважин для бурения каждым из этих способов будут различными для одинаковых геолого-гидрогеологических условий при одних и тех же глубинах и эксплуатационных диаметрах — эти различия нельзя учесть в типовом проекте. Даже при незначительных отклонениях вскрываемого геологического разреза от проектного необходимо принимать различные меры в зависимости от применяемого способа бурения. Всевозможные варианты этих мер в сочетании с особенностями фактического разреза нельзя предусмотреть ни в одном типовом проекте.

В настоящее время проектирование скважин ведется проектными учреждениями, а сооружение их — конторами бурения или строительно-монтажными управлениями. При возникновении осложнений в процессе бурения, опробования или сдачи скважины конторы бурения часто стремятся объяснить их несовершенством или неполнотой проекта даже в тех случаях, когда проект составлен индивидуально с учетом комплекса всех естественно-исторических условий и в нем правильно освещены технические и технологические вопросы. Подобные претензии будут иметь значительно больше оснований при использовании типового проекта, ориентированного на какие-то осредненные условия.

Детализация же типового проекта камеральным путем на основе привязки его к конкретному участку равноценна разработке нового индивидуального проекта, который, бесспорно, может быть составлен значительно полнее, чем типовой.

Все элементы разведочного и опытного характера, необходимые при разведочно-эксплуатационном бурении на воду, исключаются при использовании типового проекта. Этому способствует также существующая система планирования, учета и оплаты при добыче подземных вод по объему бурения. Стремясь выполнить план работ по объему, при бурении иногда проходят и изолируют трубами водообильные горизонты с хорошим качеством воды, залегающие на сравнительно небольшой глубине, и бурят скважины до глубины, превышающей проектную. При этом вскрывают горизонты с более низкими статическими уровнями или менее водообильные. Иногда формальное выдерживание конструкции скважины по проекту приводит к отрицательным результатам — все водоносные горизонты оказываются перекрытыми. Поэтому учет бурения по объему можно рассматривать только как отрицательный показатель выполненной работы. Метод планирования и финансирования геологоразведочных работ на все виды полезных ископаемых по объему бурения имеет много недостатков.

Основным показателем качества выполненной работы при бурении разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения должно быть принято количество доброкачественной воды, которое можно получить из скважины в данных гидрогеологических условиях.

Все изложенное показывает, что бурение разведочно-эксплуатационных скважин на воду по типовым проектам будет способствовать резкому снижению качества их как водозаборных сооружений.

О неприменимости метода типового проектирования для разведочно-эксплуатационных скважин на воду свидетельствует и «Инструкция по разработке типовых проектов для промышленного строительства» (СН 227—62).

Во-первых, в перечне объектов проектирования, на которые распространяется действие указанной инструкции, не упоминаются буровые скважины для водоснабжения.

Во-вторых, в инструкции указано, что типовые проекты разрабатываются для обеспечения строительства готовой проектной документацией, предусматривающей такие проектные решения, которые могут быть неоднократно применены для строительства, осуществляемого при этом по готовой проектной документации после привязки ее к конкретным условиям строительной площадки.

Недопустимость использования типовых проектов при разведочно-эксплуатационном бурении одиночных скважин на воду может быть доказана уже по одному тому, что бурение этих скважин не является строительной работой.

Цель разработки типовых проектов — многократное использование их для объектов строительства. Между тем по данным десятков тысяч скважин, пробуренных на воду, известно, что даже в условиях районов, хорошо изученных в гидрогеологическом отношении, в относительно простых по строению платформенных областях, не говоря уже о предгорных и горных районах, разрезы даже близко расположенных скважин никогда в точности не повторялись. Поэтому и конструкции скважин отличались по длине обсадных колонн, по их количеству и диаметру. На изменение конструкций влияют также требования водопотребления, санитарные условия, а также всевозможные технические и другие причины. Это также свидетельствует о том, что попытка создать универсальные типовые проекты разведочно-эксплуатационных скважин на воду не согласуется с требованиями названной инструкции.

Наконец, ошибочность стремления к разработке типовых проектов скважин видна из того, что различные сочетания геологических разрезов, типов и производительности водоносных горизонтов, положений статического и динамического уровней воды, расчетного водопотребления, требований к качеству воды и способов бурения чрезвычайно многообразны на обширной территории СССР. Даже для частичного охвата этих сочетаний в разных вариантах возникла бы необходимость разработки бесчисленного множества разновидностей типовых проектов. Однако и при этом типовой проект конструкции скважины мог бы соответствовать действительным условиям только в результате случайного совпадения.

В качестве еще одного доказательства правильности всех высказанных положений можно привести следующий пример. Ни у одного гидротехника не возникает идея предложить проектировать гидроэлектростанции по типовым проектам. Более того, подобная идея, будь она высказана, была бы квалифицирована как элементарная техническая неграмотность. Ибо каждая река имеет свой

энергетический потенциал, каждая гидроэлектростанция — свои параметры, а каждый створ плотины и участок всех сооружений ГЭС — свои специфические инженерно-геологические условия. Поэтому проект каждой ГЭС всегда составляют строго индивидуально применительно к конкретным природным условиям. Основные исходные данные для проектирования ГЭС и разведочно-эксплуатационной скважины для водоснабжения вполне аналогичны.

Закономерно поставить перед сторонниками типового проектирования скважин на воду такой вопрос — можно ли, например, для «классического» Подмосковного артезианского бассейна, сравнительно спокойного и изученного в совершенстве, составить один типовой проект для скважин на воду, а если не один, то сколько их нужно? Ответ на этот вопрос может быть следующий.

Требования потребителей воды в отношении дебита, химического состава и даже температуры воды неисчислимы по разнообразию. Отсюда — неисчислимость требований к диаметру эксплуатационных скважин и глубине, так как в отдельных случаях целесообразно использовать не основные карбоновые, а менее водообильные мезозойские и даже хорошо защищенные с поверхности четвертичные водоносные горизонты, залегающие на самых различных глубинах. Таким образом, уже только по одним этим признакам возникает задача со многими неизвестными. Но под мезозойским и четвертичным комплексами отложений залегают основные — карбоновые водоносные горизонты. Следовательно, дополнительно появляется необходимость бесчисленной «ярусной типизации», рассчитанной также и на карбоновые водоносные горизонты.

«Спимем» мезозойский и четвертичный комплексы отложений и примем во внимание только верхне-, средне- и нижнекарбоновые водоносные горизонты. В разных частях Подмосковной артезианской синеклизы они залегают в разных сочетаниях и на раэличных глубинах при различной степени трещиноватости известняков в разных районах. Весьма неодинаковы также пьезометры горизонтов и удельные дебиты скважин, питающихся из них, в зависимости от близости естественных и искусственных дрен, степени влияния районных депрессий, взаимодействия эксплуатируемых водозаборов и пр.

При этом карбоновые отложения в некоторых районах залегают непосредственно под четвертичной толщей, в некоторых, кроме того, перекрыты отложениями мела и юры, в некоторых — только юры.

Таким образом возникает необходимость несметного числа вариаций типовых проектов — с полным учетом мезозойского комплекса отложений, с частичным его учетом (в тех местах, где меловые отложения размыты) и без учета; с учетом подморенного и межморенного горизонтов и без них, так как они во многих местах выклиниваются и не представляют практического интереса; наконец карбоновые водоносные горизонты, которых в пределах Московской области, включая подъярусы, насчитывается около десятка и которые также распространены неповсеместно.

Таким образом, для одного только, относительно простого по своему строению, Подмосковного артезианского бассейна, для различных его участков понадобились бы сотни, а может быть и тысячи типовых проектов, которые тем не менее нуждались бы в существенной корректировке на каждом конкретном участке бурения.

Исходя из всего сказанного, правильный выход только в крупномасштабном гидрогеологическом районировании и применительно к нему — индивидуальном проектировании каждой конкретной скважины с учетом всех требований будущего ее владельца и всех местных особенностей точки ее заложения, включая санитарно-гидрогеологические. Ведь при самом детальном районировании (даже 1 : 50 000, что может встретиться как исключение) на карте могут быть не отражены перепады рельефа поверхности до 5 м и более, не говоря уже о подземном рельефе кровли водоносного горизонта.

Расходы на индивидуальное проектирование бурения скважин исчисляются в десятых долях процента стоимости ее сооружения. В то же время средняя стоимость бурения только одной скважины глубиной 120—150 м составляет обычно 8—10 тыс. руб. Поэтому каждая скважина, сооруженная по типовому проекту и не давшая положительных результатов, принесет убытки, в десятки и сотни раз превосходящие экономию, которая может быть достигнута за счет меньшей стоимости типового проекта по сравнению со стоимостью разработки индивидуального проекта.

Составление типовых проектов бурения разведочно-эксплуатационных скважин на воду и внедрение этих проектов в производство может способствовать только непроизводительным затратам государственных средств.

Как исключение типовое проектирование может быть применено при добыче полезных ископаемых, когда детальная разведка и опробование уже проведены и заранее известны все будущие параметры скважины как эксплуатационного сооружения (например, на нефтяных месторождениях, детально разведанных на большие глубины с изученным и выдержанным геологическим разрезом). Типовые проекты промысловых эксплуатационных скважин составляются применительно к условиям залегания и особенностям каждого отдельного разведанного месторождения.

В противоположность всем отрицательным сторонам применения метода типового проектирования к геолого-гидрогеологическим разрезам и конструкциям одиночных скважин на воду в целом заслуживает внимания и одобрения работа по типизации разных видов фильтров применительно к различному гранулометрическому составу водоносных горизонтов. Результаты этой работы дадут возможность перейти на промышленный способ изготовления различных фильтров вместо применяемого ныне кустарного метода.

Большое влияние на правильность проектирования разведочно-эксплуатационных скважин на воду оказывает гидрогеологическое районирование.

Наряду со стремлением к типовому проектированию скважин на воду отмечается стремление к разработке карт типовых гидрогеологических районов для бурения скважин для водоснабжения. Недостаток метода типизации в гидрогеологическом районировании заключается в учете при этом узковедомственных запросов и потребностей отдельных отраслей народного хозяйства (например, только сельскохозяйственного водоснабжения). При этом на гидрогеологической карте в пределах типовых районов выделяются как основные неглубоко залегающие водоносные горизонты с незначительными ресурсами подземных вод. Это ошибочно обосновывают тем, что сельскохозяйственные объекты характеризуются сравнительно небольшим водопотреблением и поэтому экономически невыгодно основывать централизованное водоснабжение на более производительных глубоко залегающих водоносных горизонтах.

Принцип «отраслевого» или ведомственного районирования неверен по следующим причинам. В границах выделяемых гидрогеологических районов располагаются и будут располагаться в будущем не только сельскохозяйственные, но и крупные промышленные, энергетические и другие объекты. Водоснабжение этих объектов не может быть удовлетворено за счет использования водоносных горизонтов, производительность которых достаточна для обеспечения нужд сельского хозяйства.

Кроме того, если действовать таким образом, то для одних и тех же территорий понадобится составлять серию карт одинакового масштаба с выделением на них районов распространения водоносных горизонтов с такой производительностью, которая соответствует водопотреблению отдельных отраслей народного хозяйства, как, например, энергетика, металлургия, нефтяная промышленность, коммунальные нужды в городах и поселках, сельское хозяйство и т. п. Вполне понятно, что с помощью такого критерия нельзя оценить подземные водные ресурсы.

Гидрогеологическое районирование как метод систематизации и синтеза имеющихся знаний и представлений о гидрогеологических условиях страны в первую очередь должно быть комплексным и всесторонним. В основе гидрогеологического районирования должны лежать естественноисторические факторы, а не ведомственные запросы. Гидрогеологическое районирование необходимо развивать и углублять, уточняя имеющиеся материалы и укрупняя масштабы карт по мере накопления достаточных новых данных.

Карты гидрогеологических районов и пояснительные записки к ним (региональные гидрогеологические заключения) должны содержать объективные данные, возможно более полно характеризующие все водоносные горизонты, встречающиеся в данном районе в пределах практически достижимой глубины. Только тогда графические и текстовые материалы гидрогеологического районирования можно эффективно использовать при проектировании разведочно-эксплуатационной скважины для водоснабжения любого объекта.

Результаты работы по детальному гидрогеологическому районированию всей территории СССР должны стать одним из исходных документов для составления проектов бурения и опробования разведочно-эксплуатационных скважин на воду. Чем детальнее и полнее будет проведено гидрогеологическое районирование, тем достовернее будет проект бурения скважины, тем ближе окажется он к реальным условиям. Однако проект бурения каждой скважины должен составляться индивидуально с учетом технологии принятого способа проходки, всех гидрогеологических и санитарных особенностей конкретного участка бурения и требований водопотребителя к качеству и количеству воды. При этом очень важно, чтобы в проекте давались указания именно для данной скважины с учетом специфики участка и предполагаемого разреза, а также рекомендовалось, как поступить, если ожидаемый горизонт не будет встречен или если он окажется на иной глубине, чем предусмотрено в проекте.

Значительно большие права следует предоставить конторам бурения, производящим работы, и в то же время к ним необходимо предъявлять более строгие требования. Они должны отвечать за методически и технически правильную, инициативную гидрогеологическую разведку, опробование скважины и в конечном счете за обеспечение доброкачественной подземной водой в необходимом количестве.

Понятия разведка и добыча различных полезных ископаемых, в том числе жидких и газообразных, и необходимый состав работ для осуществления двух названных процессов четко разграничены.

Разработка и эксплуатация полезных ископаемых начинается только после того, как месторождение разведано, опробовано и четко оконтурено в пространстве, а запасы исчислены в объемных или весовых единицах с точностью соответствующей определенной категории.

Задачей предварительной и детальной разведки является установление количества и качества полезного ископаемого на определенном месторождении и выяснение условий залегания этого месторождения. При этом детальная разведка должна обеспечить получение данных, необходимых для составления рабочего проекта, разработки месторождения.

При так называемой эксплуатационной разведке уточняются отдельные подробности и особенности строения месторождения полезного ископаемого и с их учетом планируются и осуществляются подготовительные вскрышные и эксплуатационные работы. Подобный порядок производства работ прочно вошел в практику разведки и добычи всевозможных полезных ископаемых.

Такой же порядок начал внедряться в настоящее время при разведке подземной воды, т. е. при гидрогеологических исследованиях для крупного водоснабжения, при проектировании групповых подземных водозаборов. Объясняется это тем, что понятие о запасах подземной воды для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения, а также классификация этих запасов получили

свое определение и были узаконены значительно позже, чем для всех прочих полезных ископаемых. Поэтому еще практикуется сооружение групповых подземных водозаборов независимо от степени изученности района не только без эксплуатационной разведки, но даже без предварительной разведки, в результате чего дорогостоящие сооружения не выполняют своего назначения.

**Групповыми** подземными водозаборами называются несколько водозаборных сооружений, которые работают одновременно и взаимодействуют в процессе работы или могут взаимодействовать при определенном режиме эксплуатации.

**Одиночными** подземными водозаборами называются одиночные скважины и группы скважин, находящихся вне пределов радиуса влияния и не взаимодействующих или расположенных хотя и на близком расстоянии, но работающих поочередно.

Между изысканиями и проектированием групповых и одиночных подземных водозаборов существуют принципиальные различия, которые отмечены в вышедших в 1966 г. «Указаниях по проектированию сооружений для забора подземных вод» (СН 325—65).

Проектированию групповых водозаборов, как уже было сказано, должен предшествовать комплекс изысканий, включающих детальную разведку, подсчет эксплуатационных запасов подземных вод, которые должны быть утверждены Территориальной (ТКЗ) или Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых Советов Министров СССР (ГКЗ).

Для детальной разведки часто бывает необходимо пробурить значительное количество скважин и провести много опытных работ. При этом нередко разведочные и опытные скважины, имеющие хорошие показатели по дебиту и качеству воды, в дальнейшем используют не только для гидрогеологического обоснования проекта, но и включают в эксплуатацию в качестве постоянно действующих водозаборных сооружений. Этим значительно облегчается рабочее проектирование группового водозабора, особенно когда он занимает сравнительно небольшой участок и весь располагается в пределах одного геоморфологического элемента, характеризующегося однообразными геолого-литологическим строением и гидрогеологическими условиями.

Проектированию одиночных скважин для водоснабжения, как правило, никогда не предшествуют разведочные, а тем более опытные работы. Объясняется это экономическими соображениями, поскольку стоимость разведочной скважины составляет обычно в среднем не менее 50% стоимости скважины, предназначенной служить водозаборным сооружением. Кроме того, данные опробования разведочной скважины не всегда могут быть экстраполированы для скважины большего диаметра, так как водообильность зависит не только от гидрогеологических условий участка, но и от конструкции скважины и особенно от ее водоприемной части.

Поэтому при бурении и опробовании одиночных скважин для водоснабжения, которые следует называть только разведочно-экс-

плуатационными, необходимо всегда, как уже было отмечено, совмещать разведку, исследование и одновременно сооружение эксплуатационного подземного водозабора.

В связи с этим необходимо остановиться на определениях понятий: разведочная, разведочно-эксплуатационная и эксплуатационная скважина. До настоящего времени эти понятия четко не разграничены и применяются неправильно.

Финансирование бурения на воду ведется по различным статьям в зависимости от названия: разведочное, разведочно-эксплуатационное и эксплуатационное. Неопределенность существующей терминологии нередко вносит значительные осложнения в организацию работ, так как разведочное бурение финансируется по «Геологоразведочным работам» (когда работы выполняются геологическими организациями по бюджету Министерства геологии СССР) или по «Проектноизыскательским работам» (в случае выполнения работ другими ведомствами), эксплуатационное же бурение финансируется по «Капитальному строительству».

Разведочной может называться скважина сравнительно небольшого диаметра, имеющая конструкцию, рассчитанную на последующее извлечение труб, оборудованная фильтром временного типа, предназначенная для вскрытия и количественного опробования водоносного горизонта, а также для исследования качества подземной воды.

Разведочно-эксплуатационной может называться скважина, проектная конструкция которой, включая водоприемную часть, рассчитана на оборудование водоподъемником, обеспечивающим запроектированный дебит и передачу ее в постоянную эксплуатацию, если опробование вскрытого водоносного горизонта и исследования химико-бактериального состава воды дали хорошие результаты.

Эксплуатационными могут называться только те скважины, которые сооружают на предварительно детально разведанных участках водозаборов. Бурение одиночных скважин для водоснабжения на ранее детально не изученных участках может быть только разведочно-эксплуатационным.

Проект любой разведочно-эксплуатационной скважины, составленный на основе всестороннего изучения и глубокого анализа конкретных местных геолого-гидрогеологических условий, в то же время должен рассматриваться только как проект бурения и опробования скважины, но не как проект водозаборного сооружения в завершенном виде. Завершать и окончательно «доводить» проект должны контора бурения или специализированное управление в процессе сооружения скважины по усмотрению и за ответственностью гидрогеолога, руководящего работами и вносящего коррективы применительно к реально встреченным условиям. Эти коррективы могут относиться к глубине спуска обсадных колонн и их диаметрам, порядку и способу цементирования колонн обсадных труб, рецептуре промывочного раствора, режиму бурения, типу и деталям конструкции фильтра.

*ГЛАВА II*

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И САНИТАРНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СКВАЖИНАМ НА ВОДУ

Скважина, используемая для водоснабжения, должна быть надежной в эксплуатации и обеспечивать получение необходимого количества доброкачественной воды. Несоблюдение указанного требования влечет за собой нарушение нормального снабжения водой объекта водоснабжения, ухудшение условий жизни населения и дополнительные затраты средств на работу по реконструкции уже пробуренной скважины или на бурение новой. Водозаборная скважина является основным сооружением водопровода, и дефекты в ее работе обычно приводят к расстройству всей системы снабжения водой населенного пункта или другого объекта водоснабжения.

При проектировании разведочно-эксплуатационной скважины необходимо обосновать требуемый расход воды, а также указать условия, при которых качество воды в скважине будет удовлетворять гигиеническим нормативам. Кроме того, конструкция скважины должна обеспечивать работу насоса, которым она будет оборудована для эксплуатации. Выбор же насоса обусловлен количеством требуемой воды, ожидаемой глубиной динамического уровня и эксплуатационными и санитарными требованиями, предъявляемыми к скважине как водопроводному сооружению.

Основные требования к проектированию подземных водозаборов регламентируются «Указаниями по проектированию сооружений для забора подземных вод» (СН 325—65).

## § 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ДЕБИТА СКВАЖИНЫ

При определении требуемого эксплуатационного дебита разведочно-эксплуатационной скважины необходимо учитывать не только потребность в водоснабжении того или иного предприятия или учреждения, но также нужды живущего поблизости населения и соседних объектов. Кроме того, расчетный дебит скважины следует определять, исходя из перспективных потребностей водоснабжения предприятия, объекта или населенного пункта.

Для ориентировочного определения расчетного расхода проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины можно пользоваться табл. 1; однако в ней не указаны нормы водопотребления для

*Таблица 1*

**Расчетные нормы расхода воды***

| Потребитель воды | Единица измерения | Среднесуточная норма потребления воды, л/сут |
|---|---|---|
| *Жилищно-коммунальные нужды* | | |
| Жилые дома без внутреннего водопровода . . | Один житель | 30—50 |
| Жилые дома квартирного типа с водопроводом, и канализацией, без ванн . . . . . | То же | 125—150 |
| То же, с газопроводом . . . . . | » | 130—160 |
| Жилые дома квартирного типа с водопроводом, канализацией и ваннами с водонагревателями на твердом топливе . . . . . | » | 150—180 |
| То же, с газовыми нагревателями . . . . . | » | 180—230 |
| Жилые дома квартирного типа с водопроводом, канализацией, газом и централизованным горячим водоснабжением . . . . . | » | 275—400 |
| Больницы, санатории общего типа и дома отдыха с общими ваннами и душевыми . . . . . | Одна койка | 250—300 |
| Санатории и дома отдыха с ваннами во всех жилых комнатах . . . . . | То же | 300—400 |
| Больницы и санатории с грязеводолечением . | » | 400—500 |
| *Хозяйственно-питьевые нужды на промышленных предприятиях* | | |
| Хозяйственно-питьевые нужды . . . . . | Один рабочий | 25—35 |
| Душ на предприятиях . . . . . | То же | 40—60 |
| *Сельскохозяйственные нужды* | | |
| Полив в теплицах, парниках . . . . . | $м^2$ | 8—12 |
| Полив огородных культур . . . . . | » | 2—4 |
| Водопой: | | |
| крупного рогатого скота при наличии автопоилок . . . . . | Голова | 150 |
| крупного рогатого скота без автопоилок . | » | 100 |
| лошадей, волов, верблюдов . . . . . | » | 60 |
| свиней . . . . . | » | 50 |
| овец . . . . . | » | 12—15 |
| *Производственно-хозяйственные нужды* | | |
| Мойка и питание грузового автомобиля . . . | Машина | 500 |
| Мойка и питание легкового автомобиля . . . | » | 300 |
| Мойка и питание трактора . . . . . | » | 150 |
| Ремонт трактора . . . . . | » | 700 |
| Ремонт грузового автомобиля . . . . . | » | 1500 |
| Ремонт легкового автомобиля . . . . . | » | 500 |
| Охлаждение двигателя внутреннего сгорания | л. с./ч | 15 |

* Данные заимствованы из Строительных норм и правил «СН и П II—Г. 1—62» и «СН и П II—Г, 3—62» (Госстройиздат, 1962 и 1963), справочников по жилищно-коммунальному хозяйству (изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1952) и технических указаний по эксплуатации сооружений сельскохозяйственного водоснабжения (Сельхозгиз, 1948).

промышленных целей, которые следует рассчитывать в зависимости от профиля и технологии предприятия. На нужды местной промышленности, обслуживающей население, и неучтенные расходы следует принимать дополнительное количество воды в размере 5—10% от суммарного расхода на хозяйственно-бытовые потребности населенного пункта.

Указанные в табл. 1 нормы водопотребления для населенных пунктов могут быть повышены до 15%, учитывая перспективное развитие водопровода на 20—25 лет.

В нормы водопотребления не входит расход воды на поливку территории. Количество воды на поливку обусловливается покрытием проездов, климатическими и грунтовыми условиями в пределах 1,5—4 л/сут на 1 м². Для засушливых районов, а также при необходимости массовой поливки зеленых насаждений на большой площади норма на поливку устанавливается по местным условиям. При отсутствии данных о площади и видах благоустройства суммарный расход воды на поливку может быть принят на одного жителя в пределах от 30 до 90 л/сут в зависимости от местных условий.

Для определения общего суточного количества воды, необходимого для водоснабжения объекта, к величине, полученной по нормам табл. 1, нужно прибавить количество воды, требуемое для восстановления противопожарного запаса согласно противопожарным нормам строительства и проектирования промышленных предприятий и населенных мест (СНиП II—Г.3—62).

Согласно указанным нормам расход воды на противопожарные нужды зависит от числа жителей и характера застройки (табл. 2).

*Таблица 2*

**Расход воды на наружное пожаротушение**

| Число жителей в поселке или в районе поселка | Расчетное количество одновременных пожаров | Расход воды на один пожар, л/с | |
|---|---|---|---|
| | | застройка домами одно-двухэтажными | застройка домами трехэтажными и выше |
| До 5 000 | 1 | 10 | 10 |
| » 10 000 | 1 | 10 | 15 |
| » 25 000 | 2 | 10 | 15 |
| » 50 000 | 2 | 20 | 25 |

Продолжительность одного пожара принимается равной 3 ч. Количество воды, требуемое для противопожарных целей, должно обеспечиваться неприкосновенным запасом воды в резервуарах. Этот запас должен восстанавливаться из водозаборной скважины в течение не более 24—36 ч в зависимости от огнеопасности предприятия или населенного пункта.

При определении часового дебита проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины следует исходить из продолжительности работы 20—22 ч/сут для водопроводов городов, больших поселков и крупных промышленных предприятий и 8—12 ч/сут для средних и небольших объектов.

Очень часто гидрогеологические условия позволяют увеличить возможную производительность скважины более, чем в два раза при незначительных дополнительных затратах на это средств — повышение эксплуатационного диаметра всего на один номер (обсадных труб) и увеличение глубины скважины на 5, 10—20 м. Поэтому, когда у населенного пункта имеются предпосылки к перспективному развитию, то в таких условиях не следует строго ограничивать расчетный дебит проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины.

## § 2. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

Требования к качеству воды, используемой для водоснабжения, различны и зависят от того, для каких целей она расходуется. Но так как разведочно-эксплуатационные скважины обычно полностью или частично служат для хозяйственно-питьевого водоснабжения, то вода, получаемая из них, должна соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям. Оценка качества воды для промышленных, сельскохозяйственных и строительных целей освещается в соответствующей литературе [67, 69].

Оценка источника водоснабжения, предназначенного для хозяйственно-питьевых целей, осуществляется исходя из положений, указанных в ГОСТ 2761-57. Согласно этому ГОСТу в первую очередь нужно отдавать предпочтение артезианским водам; при отсутствии таких вод следует ориентироваться на другие источники в следующем порядке: межпластовые безнапорные воды, грунтовые воды, воды открытых водоемов (водохранилища, реки, озера, каналы).

Подземные воды используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения большей частью без очистки и обезвреживания, поэтому следует стремиться к тому, чтобы природное качество их удовлетворяло требованиям ГОСТ 2874-73 на питьевую воду, подаваемую в водопроводную сеть (табл. 3).

По согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы содержание сухого остатка допускается до 1500 мг/л и общей жесткости до 10 мг-экв./л, а при использовании подземных вод железа до 1,0 мг/л (если не производится обезжелезивания воды).

Согласно данным врачей-гигиенистов [90], жесткая вода сама по себе не оказывает вредного влияния на здоровье человека, однако она неудобна для употребления в быту (стирка белья, мытье, приготовление пищи и т. д.).

В подземных водах часто отмечаются повышенные количества железа (1—2 мг/л, а иногда и более). Присутствие в воде таких

*Таблица 3*

**Предельное (максимально допустимое) содержание химических веществ, бактериальных загрязнений и значения органалептических показателей в питьевой воде, используемой для централизованного водоснабжения**

| Наименования показателей | Значения показателей |
|---|---|
| Содержание, мг/л: | |
| сухого остатка | 1000 |
| хлоридов ($Cl^-$) | 350 |
| сульфатов ($SO_4^{2-}$) | 500 |
| железа ($Fe^{2+; 3+}$) | 0,3 |
| марганца ($Mn^{2+}$) | 0,1 |
| меди ($Cu^{2+}$) | 1,0 |
| цинка ($Zn^{2+}$) | 5,0 |
| бериллия ($Be^{2+}$) | 0,0002 |
| молибдена ($Mo^{2+}$) | 0,5 |
| мышьяка ($As^{3+; 5+}$) | 0,05 |
| нитратов (*по N*) | 10,0 |
| свинца ($Pb^{2+}$) | 0,1 |
| селена ($Se^{6+}$) | 0,001 |
| стронция ($Sr^{2+}$ — стабильный) | 2,0 |
| фтора ($F^-$): | |
| для I и II климатических районов | 1,5 |
| для III климатического района | 1,2 |
| для IV климатического района | 0,7 |
| урана (U) природный и уран-238 | 1,7 |
| радия-226 (Ra), Ku/л | $1{,}2 \cdot 10^{-10}$ |
| Общая жесткость, мг-экв./л | 7,0 |
| Водородный показатель (pH) в пределах | 6,5—8,5 |
| Общее количество бактерий в 1 мл неразбавленной воды | 100 |
| Количество кишечных палочек в 300 мл воды | 1 |
| Запах при 20° С и при подогревании воды до 60° С, баллы | 2 |
| Привкус при 20° С, баллы | 2 |
| Цветность по шкале, градус | 2 |
| Мутность по стандартной шкале, мг/л | 1,5 |

количеств железа не влияет на здоровье людей, но в употреблении железистые воды неудобны. При соприкосновении с воздухом железо в воде быстро окисляется и образуется осадок водной окиси железа. Кроме того, в воде появляется землистый привкус. Если по гидрогеологическим условиям в районе заложения скважины отсутствуют подземные воды с небольшим количеством железа, то перед подачей воды в сеть с высоким содержанием железа ее необходимо обезжелезить.

Допустимое содержание в питьевой воде вредных веществ, не перечисленных в таблице, устанавливается Главным санитарно-эпидемиологическим управлением СССР в каждом отдельном случае.

Запах, привкус, цветность и прозрачность определяют органолептические свойства воды, т. е. свойства, воспринимаемые органами чувств человека. Несоответствие этих свойств требованиям ГОСТ может вызвать у населения ограничение или полный отказ от использования воды из сооруженной скважины, поэтому такую скважину нельзя рассматривать как полноценный источник водоснабжения.

Свинец и мышьяк — токсические элементы, повышенные количества которых в питьевой воде вызывают отравления или хронические заболевания людей; повышенное количество в воде меди и цинка ухудшает ее вкус.

Изучению влияния фтора, содержащегося в питьевых водах, на здоровье населения посвящено много работ [21, 42, 70].

Повышенные количества фтора в питьевых водах вызывают у человека заболевание флюорозом. При употреблении воды, содержащей до 8 мг/л фтора, это заболевание проявляется в виде крапчатости и пятнистости зубов, а более высокое его содержание может вызвать поражение общего состояния здоровья людей; повышенное количество фтора в воде влияет также на состояние здоровья домашних животных.

Однако при небольшом содержании фтора в питьевых водах у населения понижается устойчивость к заболеванию зубным кариесом. Поэтому при употреблении воды с малым содержанием фтора (менее 1 мг/л) наблюдается развитие этого заболевания.

Для проведения оздоровительных мероприятий по сокращению заболеваний зубным кариесом в настоящее время в некоторых городах воду фторируют, если в водопроводной воде содержится мало фтора (менее 0,5 мг/л).

Предельное содержание фтора в питьевой воде зависит от ее потребления. В районах с холодным и умеренным климатом люди потребляют меньше воды, чем в районах с жарким климатом.

Употребление воды, не отвечающей требованиям ГОСТ по бактериальному состоянию, может привести к возникновению эпидемических заболеваний.

В настоящее время в медицинской литературе [127] имеются указания, что на здоровье населения оказывают влияние не только вещества в питьевых водах, отмеченные в ГОСТ, но и др. Так, Ф. Н. Субботин [116] отмечает, что при употреблении в течение одного сезона воды, содержащей 20—40 мг/л азота нитратов, у детей возникает заболевание крови (метгемоглобинния). По мнению гигиенистов, нижняя граница содержания азота в питьевых водах, уже вызывающая указанное заболевание, находится на уровне 10 мг/л [53]. Не нормируется ГОСТ содержание в питьевой воде йода, но в эндемических очагах заболевания населения зобом обычно отмечается пониженное содержание в питьевых водах этого элемента (менее 0,001 мг/л). Однако поступление йода в организм человека

с питьевыми водами имеет намного меньшее значение, чем поступление его с пищевыми продуктами [93]. Поэтому считают, что недостаточное количество йода в природных водах используемых для питья, самостоятельно не определяет возникновения эндемии зоба. Но химический состав природных вод связан с биогеохимическими условиями местности, вследствие этого в пунктах, в которых указанные воды содержат мало йода, отмечается и недостаток его в почвах, местных растительных продуктах питания, кормах и продуктах животноводства [33].

Экспериментальные исследования на животных показывают, что стронций в количествах, которые встречаются в пресных подземных водах, может влиять на минеральный обмен в организме. Невысокая концентрация стронция в воде может стимулировать минеральный обмен, а более высокая — угнетать его [71]. Кроме того, на состояние здоровья людей и животных оказывают влияние также и другие химические элементы, как, например, бор, но связь заболеваний с содержанием этих элементов в питьевых водах еще мало изучена.

Для ряда элементов в новом международном стандарте качества питьевой воды рекомендуются следующие максимально допустимые концентрации (в мг/л): кальция 200, магния 150, хрома 0,05, кадмия 0,01, бария 1,0, цианидов 0,2 [128].

В подземных водах присутствуют радиоактивные вещества естественного происхождения; наиболее распространены уран, радий и радон. Предельно допустимые концентрации этих веществ в питьевой воде регламентируются специальными санитарными нормами.

В некоторых районах в пресных подземных водах отмечается присутствие повышенных количеств органических веществ. В северных районах СССР грунтовые воды ледниковых и аллювиальных отложений обычно содержат значительные количества гумусовых веществ и железа. От этого вода приобретает желтый или бурый цвет и имеет землистый вкус.

В нефтеносных областях в пресных подземных водах иногда содержатся фенолы. Небольшие количества фенола не оказывают влияния на органолептические свойства свежей природной необработанной воды, но когда вода, содержащая даже очень небольшие концентрации фенола (0,005 мг/л), подвергается хлорированию для ее обеззараживания, появляется неприятный хлорфенольный запах.

Снабжение населения доброкачественной водой является очень важным гигиеническим фактором.

Например, улучшение водоснабжения европейских городов во второй половине прошлого века снизило заболеваемость брюшным тифом в этих городах в 8—12 раз, тогда как введение до этого специальных прививок уменьшило заболеваемость брюшным тифом только в 5—6 раз [127].

Как отмечает В. А. Книжников [71], с течением времени гигиенические требования к качеству питьевой воды становятся все более и более жесткими. Это обусловлено тем, что по мере совершенство-

вания методов исследований и получения новых данных о гигиене и эпидемиологии устанавливаются дополнительные закономерности влияния различных веществ, присутствующих в водах, на здоровье людей.

Если вода источника водоснабжения не отвечает санитарным требованиям, то перед подачей в сеть ее необходимо улучшить до соответствующих норм. Однако организовать улучшение качества воды при эксплуатации скважины очень сложно, особенно на небольших водопроводах. Для работы очистной станции даже при проведении одного только обеззараживания воды простым хлорированием требуются постоянный квалифицированный персонал и дефицитные реагенты. Таким образом, следует стремиться проектировать разведочно-эксплуатационные скважины с расчетом получения воды, которая по своим качествам уже отвечает требованиям ГОСТ.

## § 3. ВЫБОР ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО НАСОСА

В настоящее время для отбора воды из скважин в СССР выпускают много различных насосов. Реже применяют также насосы, изготовляемые за рубежом. Наибольшее распространение получили сейчас глубинные артезианские насосы с погружными электродвигателями: по своим эксплуатационным показателям они наиболее эффективны. Применяют также глубинные насосы с электродвигателями на поверхности земли, устаревшие штанговые насосы, воздушные подъемники и обычные центробежные насосы с горизонтальной осью. Для получения небольших количеств воды используются водоструйные насосы.

**Глубинные артезианские насосы** характеризуются высокими эксплуатационными показателями. Производительность некоторых серийных насосов достигает 250—300 м³/ч; высота подъема воды свыше 100 м; коэффициент полезного действия 0,45. Эти насосы могут подавать воду непосредственно в сеть, не требуют больших помещений насосных станций, просто управляются. При их монтаже сравнительно легко полностью изолировать устье скважины от поверхностных загрязнений.

В табл. 4 приведены основные технические данные насосов типа АТН. Некоторые рабочие характеристики наиболее часто применяемых насосов этого типа приведены на рис. 1, 2, 3.

Несмотря на многие положительные качества этих насосов, они обладают и существенными недостатками. Вследствие этих недостатков они считаются устаревшими и в настоящее время вытесняются глубинными насосами с погружными двигателями.

Основными недостатками насосов типа АТН является их громоздкость, а также особая чувствительность к вертикальности скважины, во избежание малейшего искривления длинного приводного вала.

Насосы с погружными двигателями в последние годы получили весьма широкое распространение, конструкции их беспрерывно

*Таблица 4*

## Основные технические данные насосов АТН

| Показатели | АТН8-1-7 | АТН8-1-11 | АТН8-1-16 | АТН8-1-22 | АТН10-1-4 | АТН10-1-6 | АТН10-1-8 | АТН10-1-11 | АТН10-1-13 | АТН10-1-15 | АТН14-1-3 | АТН14-1-6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Производительность, м³/ч | 30 | | | | 70 | | | | | | 250 | |
| Высота напора, м | 30 | 45 | 65 | 90 | 30 | 45 | 60 | 80 | 100 | 115 | 40 | 80 |
| Мощность электродвигателя, кВт | 7 | 10 | 14 | 20 | 14 | 20 | 28 | 40 | 40 | 45 | 45 | 75 |
| Число рабочих колес, шт | 7 | 11 | 16 | 22 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 | 3 | 6 |
| Минимальный внутренний диаметр эксплуатационной колонны, мм | 203 | | | | 255 | | | | | | 355 | |
| Габаритный диаметр в скважине, мм | 188 | | | | 238 | | | | | | 340 | |
| Диаметр наружный напорных труб, мм | 127 | | | | 168 | | | | | | 245 | |
| Длина секции напорных труб, мм | 2570 | | | | 2520 | | | | | | 2600 | |
| Длина секции приводного вала, мм | 2600 | | | | 2550 | | | | | | 2630 | |
| Высота приводной головки со станиной, мм | 1090 | 1372 | 1372 | 1400 | 1372 | 1360 | 1360 | 1410 | 1410 | 2040 | 2080 | 2080 |
| Размер станины в плане, мм | 520×520 | | | | 600×600 | | | | | | 920×920 | |
| Масса приводной головки со станиной, кг | 260 | 305 | 305 | 352 | 350 | 483 | 483 | 549 | 549 | 1635 | 1952 | 2000 |
| Длина насосного узла, мм | 1141 | 1729 | 2464 | 3346 | 875 | 1235 | 1595 | 2135 | 2495 | 2855 | 1300 | 2140 |
| Максимальное число секций напорных труб, шт | 12 | 17 | 24 | 33 | 12 | 18 | 24 | 31 | 39 | 47 | 19 | 38 |
| Масса насоса при максимальном числе секций, кг | 1331 | 1805 | 2423 | 3234 | 1950 | 2832 | 3600 | 4600 | 5617 | 7500 | 6557 | 11 083 |

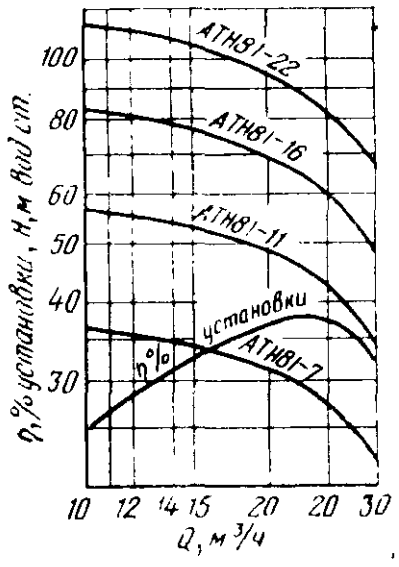



Рис. 1. Рабочая характеристика насосов АТН8-1 с учетом потерь в колонне напорных труб с приводным валом

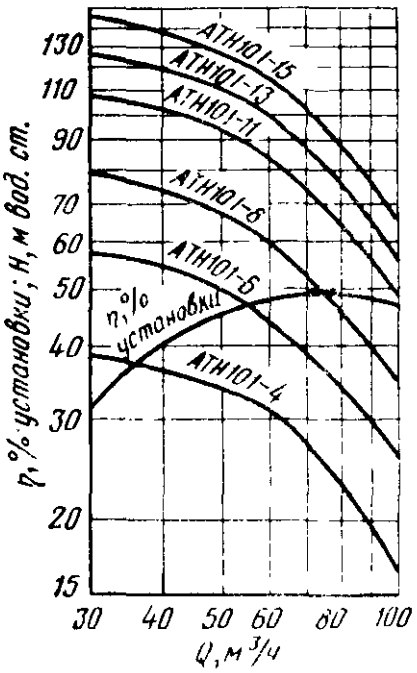



Рис. 2. Рабочая характеристика насосов АТН10-1 с учетом потерь в колонне напорных труб с приводным валом

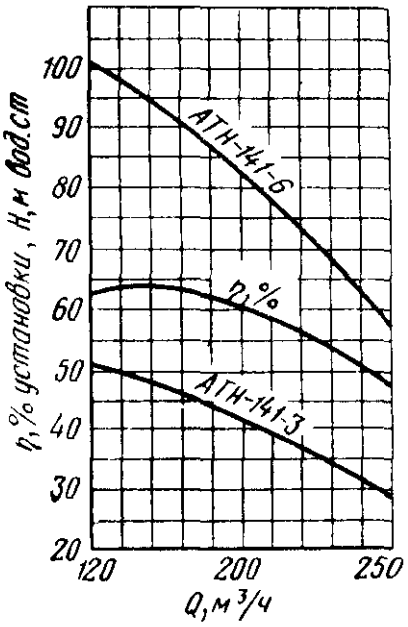



Рис. 3. Рабочая характеристика насосов АТН14-1

совершенствуются, а экономичность и коэффициент полезного действия — неуклонно растут.

Электрические погружные центробежные насосы ЭЦНВ предназначены для подъема воды из скважин; они рассчитаны на откачку неагрессивной воды с температурой до 25° С и содержанием механических примесей до 0,01% по весу. Производительность их достигает 360 м³/ч, высота напора превышает 300 м. Для погружных насосов этого типа принято индексирование, например ЭЦНВ-6-10-140, которое расшифровывается следующим образом: Э — электрический, Ц — центробежный, Н — насос, В — водоподъемный, 6 — диаметр скважины в мм, уменьшенный в 25 раз, 10 — производительность в м³/ч; 140 — высота напора в м.

Погружные насосы типа ЭЦНВ — центробежные, многоступенчатые секционные, вертикальные с закрытыми лопастными колесами одностороннего входа.

Основные технические данные насосов типа ЭЦНВ приведены в табл. 5, некоторые рабочие характеристики отдельных типов насосов этой серии приведены на рис. 4. 5, 6.

Оригинальной новой конструкцией отличаются погружные насосы типа ЭПН, разработанные институтом Гидропроект на основании ряда по ГОСТ 10428-63. Эти насосы предназначены для откачки воды из скважин диаметром от 154 до 259 мм (табл. 6). Насосы должны работать только полностью погруженные в воду, температура которой не превышает +25° С. В воде не должно быть агрессивных примесей, допустимое количество механических примесей в воде не более 0,05% по весу.

*Таблица 5*

**Основные технические данные погружных насосов типа ЭЦНВ**

| Показатели | ЭЦНВ-6-7,2-75 | ЭЦНВ-6-7,2-120 | ЭЦНВ-6-10-140 | ЭЦНВ-6-10-185 |
|---|---|---|---|---|
| Производительность, м³/ч | 7,2 | 7,2 | 10 | 10 |
| Высота напора, м | 80 | 127 | 140 | 185 |
| Число ступеней | 10 | 16 | 16 | 21 |
| Диаметр наружный агрегата, мм | 142 | 142 | 142 | 142 |
| Диаметр внутренний напорного трубопровода, мм | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Длина агрегата, мм | 1440 | 1700 | 2100 | 2500 |
| Масса агрегата, кг | 77 | 92,8 | 116 | 134 |
| Электродвигатель | МАПЗ-14 | ПЭДВ-4,5—14 | ПЭДВ-8—140 | ПЭДВ-8—140 |
| Мощность, кВт | 2,5 | 4,5 | 8 | 8 |

*Продолжение табл. 5*

| Показатели | ЭЦНВ-10-120-60 | ЭЦНВ-12-255-30 | ЭЦНВ-14-200-300 | ЭЦНВ-16-360-180 |
|---|---|---|---|---|
| Производительность, м³/ч | 120 | 255 | 210 | 360 |
| Высота напора, м | 60 | 30 | 304 | 180 |
| Число ступеней | 3 | 1 | 6 | 3 |
| Диаметр наружный агрегата, мм | 234 | 278 | 327 | 358 |
| Диаметр внутренний напорного трубопровода, мм | 121 | 154 | 194 | 219 |
| Длина агрегата, мм | 1370 | 2086 | 2493 | 2370 |
| Масса агрегата, кг | 324 | 268,6 | 1780 | 1697 |
| Электродвигатель | ПЭДВ-8—140 | ПЭДВ-32—230 | ПЭДВ-250—320 | ПЭДВ-250—320 |
| Мощность, кВт | 32 | 32 | 250 | 250 |

*Таблица 6*

**Некоторые технические данные насосов типа ЭПН**

| Марка насоса | Производительность, м³/ч | Высота напора, м | Коэффициент полезного действия, % | Мощность электродвигателя, кВт | Поперечный размер (включая кабель), мм | Диаметр внутренней эксплуатационной колонны, мм | Диаметр напорных труб, дюймы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ЭПН-6-16 × 75 | 16,0 | 75 | 72 | 5,5 | 142 | 150 | $2^1/_2$ |
| ЭПН-6-16 × 110 | | 110 | | 8 | | | |
| ЭПН-8-40 × 65 | 40,0 | 65 | 74 | 13 | 142 | 150 | 3 |
| ЭПН-8-40 × 100 | | 100 | | 17 | 186 | 197 | |
| ЭПН-8-63 × 75 | 63 | 75 | 75 | 22 | 186 | 197 | 3 |
| ЭПН-8-63 × 110 | | 110 | | 30 | | | |
| ЭПН-10-120 115 | 120 | 115 | 76 | 50 | 234 | 249 | 4 |

Индексация насосов ЭПН6 16 × 110 обозначает: Э — электрический, П — погружной, Н — насос, 6 — диаметр скважины в мм, уменьшенный в 25 раз; 16 — производительность м³/ч; 110 — высота напора в м.

Более подробная техническая характеристика насосов типа ЭПН-6 приведена в табл. 7 и на рис. 7, 8.

До некоторой степени устаревшими, но все еще широко распространенными являются артезианские погружные электронасосы типа

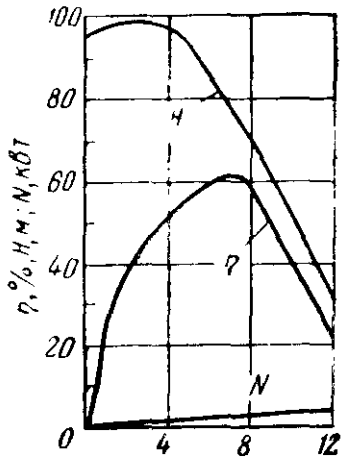



Рис. 4. Рабочая характеристика насоса ЭЦНВ-6-7,2-75

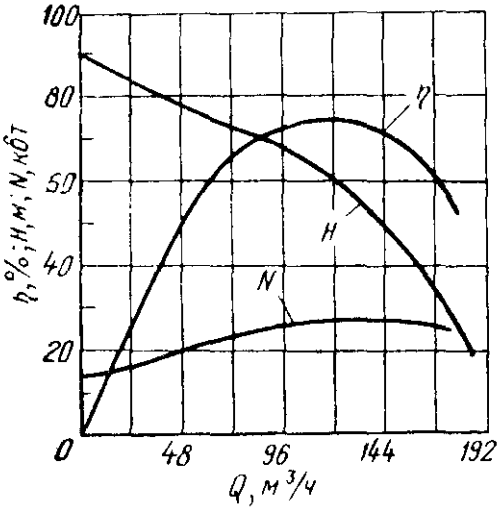



Рис. 5. Рабочая характеристика насоса ЭЦНВ-10-120-60

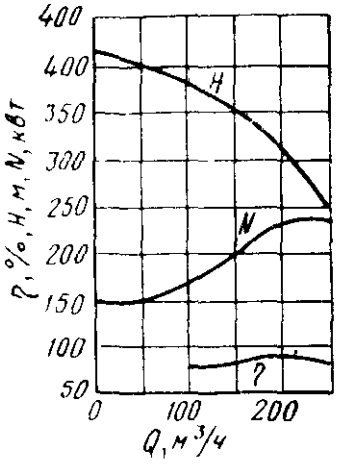



Рис. 6. Рабочая характеристика насоса ЭЦНВ-14-200-300

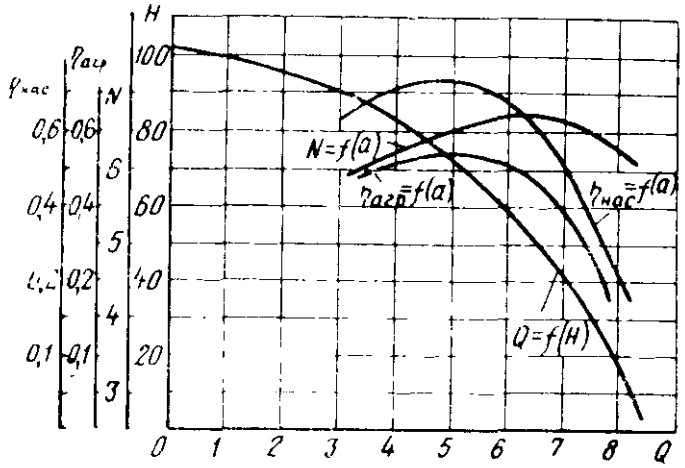



Рис. 7. Рабочая характеристика насоса ЭПН-6-16-75

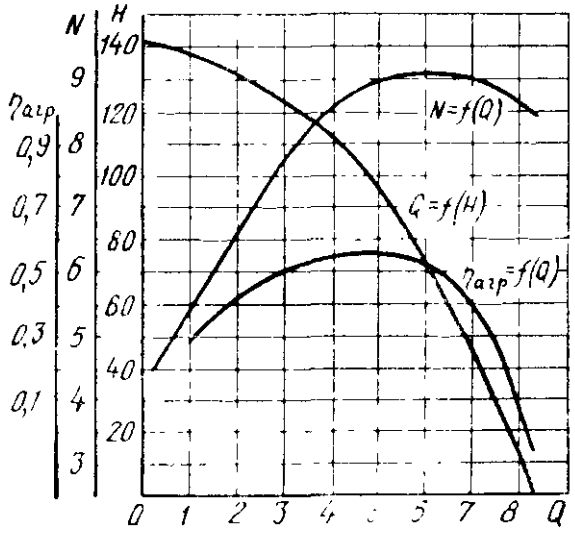



Рис. 8. Рабочая характеристика насоса ЭПН-6-16-110

АПВ и АПВМ (табл. 8). Насосы погружные, водонаполненные могут работать только погруженными в воду с температурой, не превышающей +15° С без содержания агрессивных растворов (щелочей и кислот) и механических примесей (по весу не более 0,01%).

*Таблица 7*

**Техническая характеристика погружных насосов ЭПН-6**

| Показатели | ЭПН-6-16-50 | ЭПН-6-16-75 | ЭПН-6-16-110 | ЭПН-6-10-80 | ЭПН-6-10-110 |
|---|---|---|---|---|---|
| Производительность, м³/ч | 16 | 16 | 16 | 10 | 10 |
| Высота напора, м | 50 | 75 | 110 | 80 | 110 |
| Скорость вращения, об/мин | 2880 | 2880 | 2880 | 2880 | 2880 |
| Электродвигатель | АПД-136/2 | АПД-136/2 | АПД-136/2 | АПД-136/2 | АПД-136/2 |
| Мощность, кВт | 4,0 | 5,5 | 8,0 | 4,0 | 5,5 |
| Ток номинальный, А | 10 | 15,5 | 20 | 10 | 15,5 |
| Напряжение сети, В | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Диаметр скважины, мм | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 |
| Масса электронасоса, кг | 80 | 110 | 145 | 90 | 105 |
| Диаметр насоса наружный максимальный, мм | 142 | 142 | 142 | 142 | 142 |
| Длина электронасоса, мм | 1400 | 1650 | 1860 | 1500 | 1640 |

Индексы насоса и электродвигателя расшифровываются следующим образом: 8 — внутренний диаметр эксплуатационной колонны в дюймах; А — артезианский; П — погружной; В — высоконапорный; М — порядковый номер конструктивного варианта; 10 — коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз; 7 — число ступеней.

М — машина; А — асинхронная; П — погружная; З — порядковый номер серии; М — порядковый литер конструктивного варианта; 21,9—максимальный диаметр электродвигателя — 21,9 см; 64 — длина активной сели — 64 см; 2 — число полюсов — 2.

Существуют еще погружные насосы типа ПМНЛ, АПТ и другие, но они менее распространены и реже применяются в практике. Одним из основных преимуществ погружных насосов, кроме их компактности и экономичности, является необязательность строгой вертикальности и прямолинейности скважины.

Недостатком всех глубинных артезианских насосов является прекращение работы скважины при профилактическом осмотре или ремонте насоса. Поэтому для водозаборов I класса (согласно СН-325-65 Госстроя СССР) всегда необходимо иметь вторую резервную скважину. В крайнем случае необходимо иметь резервный насос, который должен быть немедленно

*Таблица 8*

**Основные технические данные насоса АПВ**

| Показатели | 6АПВ-9×7 | 6АПВ-9×12 | 8АПВМ-10×7 | 10АПВМ-9×7 |
|---|---|---|---|---|
| Производительность, м³/с | 6 ÷ 9 | 50 ÷ 10 | 15 ÷ 30 | 34 ÷ 55 |
| Высота напора, м | 50 ÷ 30 | 90 ÷ 55 | 120 ÷ 75 | 165 ÷ 100 |
| Скорость вращения вала, об/мин | 2880 | 2880 | 2850 | 2880 |
| Электродвигатель | МАПЗ-14-34/2 | МАПЗ-14-34/2 | МАПЗМ-18-50/2 | МАПЗМ-21,9-64/2 |
| Мощность двигателя, кВт | 2,5 | 2,5 | 12 | 35 |
| Ток номинальный, А | 7,1 | 7,1 | 29,2 | 78 |
| Напряжение сети, В | 380 | 380 | 380 | 380 |
| Эксплуатационный диаметр скважины, мм | 154 | 154 | 205 | 259 |
| Масса электронасоса, кг | 69,5 | 78,8 | 178 | 325 |
| Габариты электронасоса, мм: | | | | |
| диаметр наружный | 140 | 140 | 190 | 228 |
| длина | 1140 | 1305 | 1824 | 2140 |

смонтирован и включен в работу на время вынужденного перерыва.

**Штанговые поршневые насосы** представляют собой морально-устаревший вид эксплуатационного водоподъемного оборудования и в настоящее время применяются редко. Небольшая производительность (до 12 м³/ч при нормальных условиях эксплуатации), ограниченная высота подъема воды (20—30 м при тех же условиях), а также быстрый износ манжет поршня заставляют отказываться от их широкого использования. Тем не менее, в сельскохозяйственном производстве еще эксплуатируют такие насосы с приводами от серийно выпускаемых водоподъемных лебедок ВЛЗМ и полностью модернизированной модели Бурвод—Ш—А.

Для проектируемых скважин с небольшой производительностью эти насосы можно использовать только как временные (для пробной откачки) водоподъемные устройства, в дальнейшем подлежащие замене. Воздушные водоподъемники (эрлифты) дают возможность получать из скважин большие количества воды и поднимают ее на высоту 60—80 м (табл. 9). При большой высоте подъема воды возникают осложнения, так как для обеспечения надлежащих пускового и рабочего давлений требуется использование специальных компрессоров высоких давлений с большой производительностью воздуха или установка нескольких обычных компрессоров, что весьма не экономично.

*Таблица 9*

**Эксплуатационные показатели воздушных водоподъемников**

| Производительность, м³/ч | Наибольшая высота подъема, м | Мощность двигателя, кВт | Минимальный эксплуатационный диаметр скважины, мм |
|---|---|---|---|
| 5—10 | 40—60 | 7—10 | 75 |
| 15—23 | 40—60 | 12—22 | 100 |
| 23—35 | 50—70 | 22—40 | 125 |
| 35—55 | 50—70 | 44—55 | 150 |
| 65—80 | 60—80 | 44—70 | 200 |
| 100—150 | 60—80 | 70—90 | 250 |
| 150—200 | 60—80 | 110—120 | 300—350 |

*Примечание.* Воздухопроводная колонна расположена концентрично.

Основное эксплуатационное преимущество эрлифтов — отсутствие в скважине движущихся механизмов, которые могли бы выходить из строя. Эрлифты могут также обеспечивать бесперебойную работу скважины при наличии на насосной станции двух компрессоров — рабочего и резервного. В то же время воздушные водоподъемники имеют и многие серьезные недостатки.

1. Коэффициент полезного действия воздушного водоподъемника ниже коэффициента полезного действия глубинных центробежных насосов, поэтому для подъема одного и того же количества воды расходуется больше энергии, чем при подъеме центробежным насосом.

2. Для работы воздушного водоподъемника с максимальным коэффициентом полезного действия требуется погрузить воздухопроводную трубу в воду на глубину, в 1,5 раза превышающую высоту подъема воды из скважины. Поэтому иногда скважину приходится углублять значительно ниже подошвы водоносного горизонта, намеченного к эксплуатации.

3. При воздушной водоподъемной установке всегда необходимы резервуар и насосы второго подъема. Стоимость насосных станций и головных сооружений скважин, оборудованных этими водоподъемниками, значительно выше, чем стоимость тех же сооружений скважин с водоподъемниками других типов.

4. При небольших неисправностях компрессора наблюдается поступление в скважину машинного масла через воздухопроводные трубы.

5. Насосные станции скважин, оборудованных воздушными водоподъемниками, создают значительный шум (шумят работающие компрессоры), поэтому устанавливать их среди жилых зданий, на территориях оздоровительных учреждений в парках и других подобных местах нежелательно.

6. При интенсивном загрязнении атмосферного воздуха вредными веществами может произойти также и загрязнение воды, подаваемой из скважины водоподъемником.

Однако когда на изолированном объекте, требующем постоянного гарантированного водоснабжения, имеется всего одна водозаборная скважина и нет возможности обеспечить резервный источник водоснабжения, целесообразно использовать воздушный водоподъемник. Кроме того, они являются незаменимым средством для опробования и очистки искривленных и «пескующих» скважин.

**Водоструйные водоподъемники (гидроэлеваторы)** имеют весьма ограниченное распространение, так, например, в сельском хозяйстве они составляют всего лишь 1—2% от общего количества действующих водоподъемных устройств, а в промышленности и коммунальном хозяйстве и того меньше. Основная причина столь малого распространения этого вида водоподъемника — очень низкий к. п. д. (0,15—0,2) и наличие источника водоснабжения для приведения в действие гидроэлеватора. Последнее основано на принципе вовлечения в движение частиц воды частицами рабочей струи воды, специально подаваемой насосом в скважину. В настоящее время ведутся работы для многократного (до 100%) повышения к. п. д. гидроэлеватора.

Применяют гидроэлеваторы, главным образом, в условиях низкого положения статического и динамического уровней воды, при небольшом водопотреблении и при наличии источника водоснабжения

для получения «рабочей» воды, т. е. для приведения гидроэлеватора в действие.

**Насосы с горизонтальной осью** удобны в эксплуатации и имеют большую производительность, но они применимы только при неглубоком и постоянном динамическом уровне воды в скважинах. Если динамический уровень находится на глубине более 5 м от поверхности земли, то эти насосы нужно устанавливать в специально сооруженных подвальных помещениях или в шахтах, чтобы они по возможности пребывали «под заливом».

В таких сооружениях, даже при гидроизоляции стенок и пола, часто скапливаются поверхностная и грунтовая воды. Иногда вода поступает также из сальников, фланцев, задвижек и стыков водопроводных труб. Обычно там сыро, поэтому трудно обеспечить необходимый санитарный режим насосного помещения и устья скважины, а условия труда обслуживающего персонала в этих насосных станциях часто неудовлетворительны.

Поскольку во многих районах наблюдается снижение уровней подземных вод на обширных площадях, возникает необходимость опускания насосов на большие глубины. Опускание насосов с горизонтальной осью связано с полным переоборудованием насосных станций, углублением шахты и длительным перерывом в эксплуатации водозаборной скважины.

Конструкционно наиболее совершенными, а экономически наиболее выгодными являются глубинные насосы с погружными электродвигателями. Поэтому проектировать новые разведочно-эксплуатационные скважины для водоснабжения следует исходя из расчета оборудования их этими насосами.

Основные требования к установке глубинных погружных насосов следующие.

1. Наружный диаметр насоса должен соответствовать эксплуатационному диаметру скважины; если последний превышает наружный диаметр насоса на один или два очередных диаметра, это не является противопоказанием для установки насоса.

2. Насос при эксплуатации должен быть полностью погружен под воду, причем желательно, чтобы столб воды, пониженный в результате эксплуатационной откачки, составлял не менее 5 м над верхней секцией насоса.

3. Не следует устанавливать насос, особенно его водоприемную часть, в пределах водоприемной (фильтровой) части скважины.

4. Нежелательно устанавливать насос в пределах необсаженной части скважины даже при условии, что необсаженная часть сложена устойчивыми, крепкими, скальными породами, так как в результате любого случайного вывала обломка породы может произойти заклинивание насоса.

Исследования Н. Ф. Гуляева показали, что эксплуатационная стоимость получения 1 м$^3$ воды при больших дебитах скважин значительно ниже, чем при меньших дебитах скважин. Поэтому если

имеются благоприятные гидрогеологические условия, а также соответствующие технико-экономические предпосылки (например, реальная перспектива дальнейшего расширения объекта водоснабжения) увеличения водопотребления в недалеком будущем, то следует проектировать разведочно-эксплуатационную скважину с большим эксплуатационным диаметром, чтобы можно было ее переоборудовать при необходимости насосом с достаточной производительностью.

*ГЛАВА III*

# ВОДООБИЛЬНОСТЬ СКВАЖИНЫ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЕ ФАКТОРЫ

Водообильность скважины, т. е. максимальное количество воды, которое может быть из нее получено, зависит не только от гидрогеологических условий, но и от конструкции скважины, а также от эксплуатационных возможностей (производительности и высоты подъема воды) существующих водоподъемников.

Водообильность скважины в основном определяется: водообеспеченностью; удельным дебитом (расход воды, отнесенный к 1 м понижения уровня воды в ней); максимальным понижением уровня воды, которое может быть достигнуто при эксплуатации данной скважины; эксплуатационным диаметром скважины (см. главу II).

## § 1. ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТЬ СКВАЖИНЫ

Под водообеспеченностью водозаборной скважины следует понимать отношение ресурсов подземных вод, которые могут быть привлечены при максимально возможном понижении в ней уровня воды, к эксплуатационному дебиту скважины.

При работе водозаборной скважины вокруг нее образуется депрессионная воронка поверхности уровня подземных вод, в пределах которой вода движется к скважине. Следовательно, для питания скважины привлекаются подземные воды со значительной площади распространения водоносного горизонта. Кроме того, в области депрессионной воронки вода может поступать из других водоносных горизонтов, а также из открытых водоемов, что могло не происходить при неизменном естественном режиме подземных вод в данном районе. Следовательно, в зависимости от местных гидрогеологических условий и величины понижения уровня воды работающую скважину могут питать различные источники. Так, например, скважина, расположенная недалеко от реки, при небольшом понижении уровня воды в ней питается только грунтовыми водами водоносного горизонта, на который она заложена, а при большем понижении уровня она, кроме захвата грунтовых вод, может еще подсасывать и речные воды.

Ресурсы подземных вод, которые могут быть привлечены данной скважиной (или групповым подземным водозабором) без существенного ухудшения эксплуатационного режима и качества воды в те-

чение расчетного срока ее работы, по предложению Н. А. Плотникова [99], называются эксплуатационными. Эти ресурсы обеспечиваются естественными (статическими) запасами и естественными (динамическими) ресурсами подземных вод, а также во многих случаях привлечением воды из других водоносных горизонтов и открытых водоемов.

*Естественные запасы* (статические) характеризуют объем воды, заключенный в водоносном горизонте. Вследствие сезонных и годовых колебаний уровня подземных вод естественные запасы изменяются. Однако эти изменения имеют существенное значение только при использовании водоносных горизонтов грунтовых вод небольшой мощности и ограниченного распространения.

Естественные запасы определяются мощностью водовмещающих пород, их распространением и водоотдачей. При прочих равных условиях рыхлые пористые песчаные породы содержат значительно больший объем воды (большие естественные запасы), чем трещиноватые скальные породы.

*Естественные ресурсы* (динамические) равны расходу воды, проходящей через поперечное сечение водоносного горизонта, и зависят от интенсивности питания водоносного горизонта атмосферными осадками или водой из других водоносных горизонтов.

Естественные ресурсы также изменяются во времени в зависимости от интенсивности питания и дренирования водоносного горизонта.

Таким образом, при определении водообеспеченности проектируемой одиночной разведочно-эксплуатационной скважины нельзя рассматривать интересующий водоносный горизонт без связи его с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Различные методы определения эксплуатационных ресурсов подземных вод в последнее десятилетие широко освещены в ряде отечественных работ [22, 26, 98 и др.].

Когда дебит скважины равен расходу привлеченных к ней естественных ресурсов воды, понижение уровня в ней при этом дебите остается постоянным, если не считать сравнительно небольших сезонных и годовых колебаний. Однако иногда эксплуатационный дебит скважины превышает привлеченные естественные ресурсы, тогда динамический уровень в скважине постепенно снижается.

Это явление наблюдается не только при эксплуатации грунтовых вод, когда пласт осушается, но и при использовании артезианских вод. В качестве примера приведем режим работы одной артезианской скважины в Московской области.

Скважина глубиной 300 м вскрыла водоносный горизонт известняков нижнего карбона, кровля которых находится на глубине 247 м от поверхности земли. Известняки покрыты толщей глин верейского горизонта, на которых залегают известняки и глины среднего и верхнего карбона, перекрытые верхнеюрскими глинами и четвертичными песками. После бурения скважины пьезометрический уровень воды в ней установился на глубине 39 м от поверхности земли. При пробной откачке, вызвавшей понижение уровня воды

на 8 м, было получено 200 м³/ч, т. е. удельный дебит скважины оказался равным 25 м³/ч.

Скважина была оборудована воздушным водоподъемником и в первые годы эксплуатации давала 400 м³/ч воды при глубине динамического уровня около 55 м от поверхности земли. После нескольких лет эксплуатации было отмечено, что динамический уровень постепенно понижается, а эксплуатационный расход уменьшается. За 15 лет эксплуатации скважины динамический уровень воды в ней понизился на 24 м до глубины 79 м, а дебит уменьшился при этом до 230 м³/ч.

Глубокая депрессия пьезометрического уровня воды распространилась на большую площадь. Так, по замерам в недействующей скважине, находящейся в 4 км от описанной, уровень воды в ней всего на 6 м выше динамического уровня действующей скважины.

Таким образом, несмотря на развитую открытую трещиноватость водоносных известняков нижнего карбона, обеспечивающую большой удельный дебит водозаборной скважины, водообильность лимитируется сравнительно небольшими естественными ресурсами горизонта вследствие глубокого его залегания и наличия в кровле мощных толщ водоупорных пород, затрудняющих его питание.

При ограниченных естественных ресурсах артезианского водоносного горизонта по сравнению с количеством получаемой воды (при небольшой водообеспеченности скважины) глубина депрессионной воронки и, следовательно, площадь ее увеличиваются. Это вызывает большой приток воды к работающей скважине.

Зависимость дебита $Q$ (в м³/сут) водозаборной скважины от основных параметров притока воды к ней выражается известными уравнениями Дюпюи:

для совершенных скважин, питающихся грунтовыми (ненапорными) водами,

$$Q = \pi k \frac{(2H - S)\,S}{\ln \frac{R}{r_0}}; \qquad \text{(III.1)}$$

для совершенных скважин, питающихся артезианскими (напорными) водами

$$Q = 2\pi k m \frac{S}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad \text{(III.2)}$$

где $k$ — коэффициент фильтрации пород эксплуатируемого водоносного горизонта в м/сут; $H$, $m$ — мощность грунтового, артезианского водоносных горизонтов в м; $S$ — понижение уровня воды в скважине от статического в м; $R$ — радиус питания скважины в м; $r_0$ — радиус скважины в м.

Из всех величин, входящих в уравнения Дюпюи, наиболее сложно получить величину радиуса питания скважины $R$. Когда водозаборная скважина получает воду из идеального артезианского горизонта, не имеющего дополнительного питания из вышележащих или ниже-

лежащих водоносных горизонтов, то радиус питания увеличивается во времени. Следовательно, в указанных условиях приток воды к скважине является процессом неустановившимся, т. е. при одном и том же понижении уровня воды $S$ дебит скважины $Q$ постепенно уменьшается или, наоборот, при постоянном $Q$ наблюдается увеличение значения $S$.

По предложению В. Н. Щелкачева [135], для решения практических задач величина радиуса питания скважины $R$ может быть заменена величиной приведенного радиуса влияния $R_п$, которая равна

$$R_п = 1{,}5\sqrt{at}, \qquad \text{(III.3)}$$

где $t$ — время от начала работы водозаборной скважины; $a$ — коэффициент пьезопроводности ($a_п$) при использовании артезианских вод и коэффициент уровнепроводности ($a_у$) при использовании грунтовых вод.

Коэффициент пьезопроводности (в м²/сут) зависит от упругих свойств подземных вод и водоносных пород и, согласно В. Н. Щелкачеву, равен

$$a_п = \frac{k}{p\beta_в + \beta_с}, \qquad \text{(III.4)}$$

где $p$ — общая пористость пород водоносного горизонта; $\beta_в$ — коэффициент объемной упругости воды, характеризующий способность воды изменять объем при изменении давления на 1 м вод., ст.; $\beta_с$ — коэффициент объемной упругости пород, слагающих водоносный горизонт, характеризующий способность пород изменять объем при изменении давления на 1 м вод. ст.

Коэффициенты $\beta_в$ и $\beta_с$ имеют размерность 1/м. По данным В. Н. Щелкачева, коэффициент объемной упругости воды изменяется от $2{,}7 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ 1/м, а коэффициент объемной упругости пород от $3 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-6}$ 1/м.

Коэффициент уровнепроводности $a_у$ (в м²/сут) пропорционален коэффициенту фильтрации $k$ и мощности грунтового водоносного горизонта $H$ и обратно пропорционален активной пористости водоносных пород этого горизонта $\mu$

$$a_у = \frac{kH}{\mu} \qquad \text{(III.5)}$$

Таким образом, при отсутствии местного питания водоносного горизонта работа водозаборных скважин практически обеспечивается только сработкой естественных запасов вод этого горизонта. Когда скважина получает воду из надежно изолированного артезианского горизонта, то естественные запасы формируются за счет разгрузки упругих свойств воды и включающих ее водоносных пород. При использовании грунтовых вод естественным запасом является объем воды, заключенный в осушаемой части водоносного горизонта в пределах депрессионной воронки.

Однако в практике работы одиночных водозаборных скважин, имеющих сравнительно небольшой дебит и использующих водоносные горизонты, находящиеся в зоне активного водообмена, подобное положение наблюдается редко. Обычно через сравнительно небольшой промежуток времени дебит скважины и понижение в ней уровня воды стабилизируются и приток подземных вод к этой скважине становится установившимся.

При использовании грунтовых вод стабилизация притока воды к водозаборной скважине преимущественно обеспечивается местной инфильтрацией атмосферных осадков, а также часто подсасыванием воды из открытых водоемов.

В артезианских горизонтах стабилизация депрессионных воронок и установление постоянного дебита скважины при устойчивом положении уровня воды в ней происходят вследствие поступления в используемый артезианский горизонт воды из других, в основном из вышележащих водоносных горизонтов. Гидрогеологические исследования последних двух десятилетий показывают, что толщи глинистых пород, залегающих в кровле и подошве артезианских горизонтов, не являются абсолютно водоупорными, даже в ненарушенных естественных условиях вода перетекает через них из одного горизонта в другой. Это перетекание усиливается в окружении работающей водозаборной скважины вследствие понижения уровня воды в используемом артезианском горизонте в пределах депрессионной воронки.

Следовательно, если не рассматривать особые случаи (получение воды из замкнутых емкостей водоносных пород или из линз пресных вод, залегающих среди минерализованных вод и др.), то питание водозаборных скважин большей частью обеспечивается использованием естественных ресурсов эксплуатируемого водоносного горизонта, а также за счет подтягивания вод из других водоносных горизонтов и иногда из открытых водоемов. Роль же естественных запасов в большинстве случаев невелика. В водоносных горизонтах грунтового типа приуроченных к рыхлым породам — пескам, они имеют значение в основном в первый период работы водозаборных скважин, а в дальнейшем являются фактором, регулирующим постоянство режима работы водозаборных скважин при сезонных и годовых изменениях интенсивности питания этих горизонтов. Упругие же естественные запасы артезианских горизонтов, содержащих пресные воды и обычно залегающих на сравнительно небольшой глубине (до 300—500 м), как показал Б. И. Куделин на примере Московского и Днепровско-Донецкого артезианских бассейнов [76, 77], большого практического значения в питании водозаборных скважин не имеют. Эти запасы имеют значение при разработке нефтяных месторождений и месторождений промышленных минеральных вод, приуроченных к большим глубинам (более 1000 м), когда добыча нефти и минеральных вод ведется с большой разгрузкой пластового давления, достигающей нескольких сотен метров [135].

Типичное изменение структуры формирования притока воды к работающим водозаборным скважинам может быть показано на

ис. 9 заимствованном из работы Ф. М. Бочевера и Н. Н. Веригина [26]. На рис. 9 видно, что подсасывание вод из поверхностных источников начинается не сразу, а с некоторого момента времени $t_п$, когда депрессионная воронка распространится до открытого водоема.

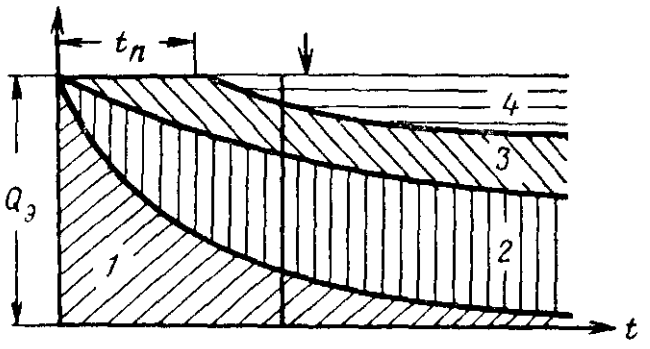



Рис. 9. Схема сработки запасов подземных вод при эксплуатации водозаборов (по Ф. М. Бочеверу и Н. Н. Веригину):

*1* — срабатываемые естественные запасы; *2* — используемые естественные ресурсы; *3* — перетекание из соседних пластов; *4* — поступление из поверхностных водных источников

Питание водозаборных скважин из открытых водоемов имеет существенное значение, когда они заложены вблизи этих водоемов, что часто происходит при использовании вод аллювиальных террас. Дебит такой одиночной скважины ориентировочно определяется уравнением

$$Q = \frac{\pi k (2H - S) S}{\ln \frac{2l}{r_0}}, \qquad \text{(III.6)}$$

где $l$ — расстояние между скважиной и водоемом.

Не всегда связь водоносного горизонта с открытым водоемом бывает совершенной. У водоносных горизонтов аллювиальных отложений она часто затруднена наличием на дне водоема илистого слоя. Для некоторых случаев имеются методы определения степени затруднения этой связи, которая выражается в дополнительном сопротивлении, равном $\Delta l$, прибавляемой к величине $l$ — расстоянию между скважиной и водоемом.

Основываясь на теоретических исследованиях И. Хантуша и Ф. М. Бочевера, Н. Н. Биндеман показал, что при перетекании вод из вышележащего и нижележащего водоносных горизонтов в эксплуатируемый артезианский горизонт приведенный радиус влияния равен [22]

$$R_п = 1{,}12B. \qquad \text{(III.7)}$$

Подставляя в уравнение (III.2) значение $R_п$, полученное по уравнению (III.7), можно определить дебит артезианской скважины с учетом перетекания воды в используемый водопосный горизонт из других горизонтов.

Величина $B$ является коэффициентом, учитывающим водопроницаемость и мощность эксплуатируемого водоносного горизонта и слабопроводимых слоев, залегающих в его кровле и подошве,

$$B = \sqrt{\frac{km}{\frac{k_1}{m_1} + \frac{k_2}{m_2}}}, \qquad \text{(III.8)}$$

где $k$ и $m$ — коэффициент фильтрации и мощность пород эксплуатируемого водоносного горизонта; $k_1$ и $m_1$ — коэффициент фильтрации

и мощность пород слабопроводимого слоя, залегающего в кровле и эксплуатируемого горизонта; $k_2$ и $m_2$ — коэффициент фильтрации и мощность пород слабопроводимого слоя, залегающего в подошве эксплуатируемого горизонта.

Если вода перетекает в эксплуатируемый артезианский горизонт только через слабопроводимые породы его кровли, то коэффициент $B$ равен

$$B = \sqrt{\frac{kmm_1}{k_1}}. \qquad \text{(III.9)}$$

Н. Хантушем и Ф. М. Бочевером было принято, что перетекание через слабопроводимые породы происходит с постоянным напором воды в вышележащем и нижележащем водоносных горизонтах. В естественной обстановке при работе одиночных водозаборных скважин это условие обычно соблюдается особенно в тех случаях, когда вышележащим водоносным горизонтом являются грунтовые воды.

Практически в природных условиях приведенные радиусы влияния одиночных водозаборных скважин, питающихся грунтовыми водами песков, составляют от нескольких десятков до нескольких сотен метров. В артезианских горизонтах эти радиусы составляют сотни метров, а когда артезианский горизонт сложен хорошо проницаемыми крупнообломочными, трещиноватыми или закарстованными породами, то величины их достигают нескольких километров.

Особенно необходимо учитывать водообеспеченность при проектировании разведочно-эксплуатационных скважин, из которых предполагается получать большие количества воды. Вскрытые водоносные породы могут иметь значительную проницаемость, обеспечивающую большие удельные дебиты, но если ресурсы используемого водоносного горизонта ограничены, то динамический уровень в скважинах, заложенных в таких условиях, будет постепенно снижаться, что может уменьшить их эксплуатационный дебит.

По степени изученности эксплуатационные ресурсы (запасы) подземных вод разделяются на четыре категории — А, В, $C_1$ и $C_2^1$.

К категории А относятся эксплуатационные запасы подземных вод, определенные в интересуемом участке по данным эксплуатации существующих подземных водозаборов или по данным опытных откачек из специально пробуренных скважин.

К категории В могут быть отнесены эксплуатационные запасы подземных вод, когда на участке проектируемого водозабора они определены, исходя из допустимой экстраполяции данных опытных откачек скважин, находящихся на этом участке.

К категории $C_1$ относятся эксплуатационные запасы подземных вод, которые определены по данным пробных откачек из единичных разведочных выработок, а также по аналогии с существующими водозаборами или примыкающими участками, где запасы подземных вод того же горизонта определены по категориям А или В.

---

[1] *Инструкция по применению классификации эксплуатируемых запасов земных вод. М., Госгеолтехиздат, 1962.*

К категории $C_2$ относят эксплуатационные запасы подземных вод, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках или по аналогии с изученными участками в пределах выявленных благоприятных структур и комплексов водовмещающих пород.

Из приведенной классификации видно, что по степени гидрогеологической изученности целесообразность проектирования и сооружения одиночных разведочно-эксплуатационных скважин в преобладающем большинстве случаев обосновывается эксплуатационными запасами подземных вод по категории $C_2$ и реже по категории $C_1$. Следовательно, водообеспеченность этих скважин при их проектировании обычно может быть оценена весьма приближенно.

## § 2. УДЕЛЬНЫЙ ДЕБИТ СКВАЖИНЫ

Удельный дебит является основным параметром, отражающим всю сумму факторов, от которых зависит водообильность скважины. Он определяется не только ее водообеспеченностью, проницаемостью пород и мощностью вскрытого водоносного горизонта, но и конструкцией приемной части самой скважины.

Опыт показывает, что водопроницаемость пород и, следовательно, удельные дебиты скважин значительно изменяются даже на небольших расстояниях. Иногда удельный дебит одной скважины составляет 20 м³/ч, а удельный дебит скважины, пройденной на тот же водоносный горизонт на небольшом расстоянии от первой, не превышает 1—2 м³/ч, хотя по глубине и конструкции эти скважины отличаются незначительно.

Очень важно при проектировании разведочно-эксплуатационных скважин правильно наметить слой, в котором водоносные породы наиболее проницаемы; этот слой должен быть захвачен приемной частью скважины. При получении воды из аллювиальных песков нужно учитывать, что по мере приближения к подошве аллювиальной толщи крупность песков и их проницаемость обычно увеличиваются. Очень часто наиболее интенсивная открытая трещиноватость водоносных известняков, образующих артезианские водоносные горизонты, приурочена к самым верхним слоям толщи; если же эти слои будут перекрыты глухой колонной обсадных труб, то скважина практически может оказаться безводной.

Зоны интенсивной трещиноватости пород могут залегать иначе. Например, как указывает В. М. Гаврилко, породы мергельно-меловой толщи верхнего мела в одном из районов Днепровско-Донецкой мульды образуют по вертикали три зоны, отличающиеся фильтрационными свойствами:

1) слабопроницаемую зону заиливания мощностью 5—10 м, находящуюся на контакте с покрывающими породами;

2) зону мощностью 20—30 м, породы которой имеют максимальную трещиноватость и большую проницаемость;

3) зону плотных мергелей, практически водоупорных, залегающих на 30—40 м ниже кровли мергельно-меловой толщи.

При таком характере фильтрационных свойств толщи приходится проектировать приемные части разведочно-эксплуатационных скважин в интервале залегания пород второй зоны, при этом удельные дебиты скважин достигают 40 м³/сут. Те скважины, в которых водоносные породы второй зоны закрыты, оказываются практически безводными.

Очень изменчива проницаемость трещиноватых кристаллических и закарстованных пород. Наиболее проницаемые зоны приурочены здесь к контактам различных пород, или к полосам тектонических разрывов, или связаны с развитием древней и современной гидрографической сети и т. д.

Из сказанного видно, что положение приемной части скважины оказывает большое влияние на ее удельный дебит. Скважина может вскрыть водообильный водоносный горизонт, но вследствие того, что не учтены состав, строение и характер водопроницаемости пород, она может дать мало воды.

Во время откачки уровень воды в стволе скважины устанавливается ниже уровня воды в заствольной части водоносного горизонта, вследствие чего понижается удельный дебит скважины. Это обусловлено искривлением линий токов (в несовершенных скважинах, а для безнапорных вод и в совершенных скважинах), а также сопротивлением фильтра.

Влияние первого фактора иллюстрируется следующей схемой. Если из точки $A$ пересечения поверхности грунтовых вод со стенкой скважины провести линию равного напора, то она будет иметь вид кривой с выпуклостью во внешнюю сторону (рис. 10). У подошвы водоносного горизонта (точка $B$) эта кривая принимает вертикальное направление. На участке, заключенном между этой кривой и стенками приемной части скважины, а также и в стволе самой скважины уровень воды должен находиться ниже уровня воды в точке $A$, иначе вода не будет двигаться в скважине. Таким образом, на этом участке происходит дополнительное падение уровня воды.

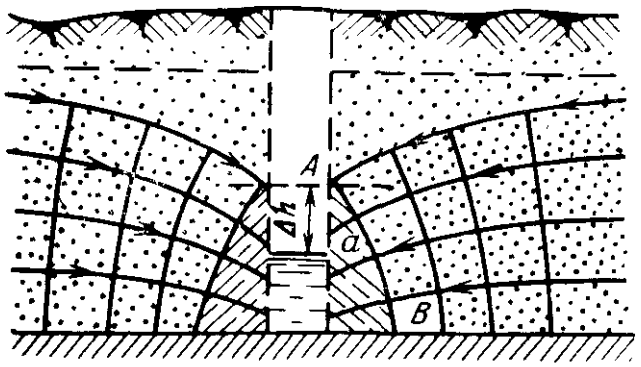



Рис. 10. Схема образования скачка уровня при поступлении воды в приемную часть скважины (по Г. Н. Каменскому)

Основываясь на данных экспериментальных исследований, С. К. Абрамов предложил следующую эмпирическую формулу для определения скачка уровня воды у ствола скважины при ее откачке

$$\Delta h = \alpha \sqrt{\frac{QS}{kF}}, \qquad \text{(III.10)}$$

где $\Delta h$ — скачок уровня в м; $Q$ — дебит скважины в м³/сут; $S$ — понижение уровня воды в скважине в м; $k$ — коэффициент фильтрации водоносных пород

в м/сут; $F$ — рабочая площадь фильтра в м², равная $\pi db$ (здесь $d$ — диаметр фильтра, $b$ — его длина).

Коэффициент $\alpha$ для совершенных скважин С. К. Абрамов рекомендует ориентировочно принимать:

| | |
|---|---|
| для сетчатых и гравийных фильтров . . . . . | 0,15—0,25 (в среднем 0,20) |
| для дырчатых, щелистых и проволочных фильтров | 0,06—0,08 (в среднем 0,07) |

Для несовершенных скважин указанные значения коэффициента увеличиваются в 1,2—1,5 раза; поправки увеличиваются с уменьшением отношения величины погружения фильтра к мощности водоносного горизонта.

Уравнение (III.10) показывает, что чем больше дебит скважины и понижение уровня воды в ней и меньше проницаемость водоносных пород, а также чем меньше диаметр и длина приемной части скважины, тем больше скачок уровня воды. Это следует учитывать при определении предполагаемого удельного дебита проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины.

При малом диаметре скважины и небольшой диине ее приемной части в зоне водоносного горизонта, непосредственно прилегающей к скважине, значительно увеличивается скорость фильтрации, что вызывает дополнительные потери напора. Эти потери еще больше возрастают, если скорость движения воды превышает критическую скорость перехода ламинарного движения в турбулентное.

И. Ф. Володько [35] на основании проведенных им исследований дает предельные значения эксплуатационных дебитов скважин, при которых ламинарное движение не переходит в турбулентное при подходе воды к приемной части скважины. Из рис. 11 видно, что в маломощных водоносных горизонтах, приуроченных к мелкозернистым пескам, даже в скважинах с небольшими расчетными дебитами не следует устанавливать фильтры с диаметром менее 100 мм. Для обеспечения большей водообильности диаметры приемных частей разведочно-эксплуатационных скважин должны быть не менее 150—200 мм.

Р. Смит [140] для определения влияния диаметра скважины на ее удельный дебит $q$ предложил

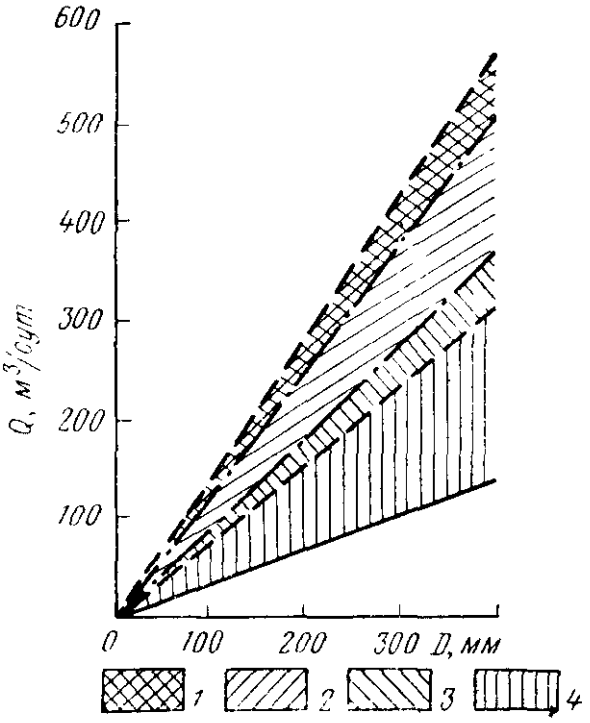



Рис. 11. Зависимость дебита от диаметра скважин, вскрывших напорный водоносный горизонт, мощностью 1 м (по И. Ф. Володько):

*1* — гравелистые пески; *2* — крупнозернистые пески; *3* — среднезернистые пески; *4* — мелкозернистые пески

эмпирическую формулу

$$q=\frac{1}{cQ}, \qquad (III.11)$$

где $Q$ — общий дебит скважины; $c$ — коэффициент, зависящий от диаметра и конструкции приемной части скважины.

Так, сравнивая две скважины, пробуренные в штате Огайо (около г. Кантона), глубиной 32 м каждая, он получил коэффициент $c$ для одной скважины равным 6,1, а для другой 0,03. Первая скважина имела диаметр фильтра 330 мм, вторая же 660 мм (включая гравийную обсыпку).

Другие элементы конструкции приемной части скважины (скважность перфорированного каркаса, тип фильтра и т. п.) также отражаются на ее дебите, так как создают дополнительные сопротивления движению воды. Последнее время предложены уравнения, позволяющие учесть влияние несовершенства размещения и различных элементов конструкции фильтров на дебит скважин. Однако эти уравнения в большинстве случаев сложны или для их решения требуется знание величин параметров, которые при проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин неизвестны (для получения указанных величин требуется проведение предварительных кустовых откачек). Поэтому при проектировании разведочно-эксплуатационной скважины нужно выбирать такую конструкцию приемной части, которая для данных водоносных пород обеспечит минимальные входные сопротивления движению воды.

Из приведенных ранее уравнений Дюпюи (III.1) и (III.2) удельный дебит водозаборных скважин $q$ равен:

для совершенных скважин, питающихся грунтовыми (ненапорными) водами

$$q=\pi k\frac{2H-S}{\ln\frac{R}{r_0}}; \qquad (III.12)$$

для совершенных скважин, питающихся артезианскими (напорными) водами

$$q=\frac{2\pi km}{\ln\frac{R}{r_0}}. \qquad (III.13)$$

По уравнениям (III.12) и (III.13) удельные дебиты скважин, питающихся грунтовыми водами, уменьшаются при увеличении понижения уровня воды в них, а удельные дебиты артезианских скважин остаются постоянными независимо от понижения уровня воды. Однако опыт показывает, что удельные дебиты и артезианских скважин при значительном увеличении общего дебита становятся меньше вследствие возрастания сопротивлений движению воды, проходящей через фильтр и породы, окружающие приствольную часть скважины.

При проектировании одиночной разведочно-эксплуатационной скважины обычно трудно определить ее предполагаемый удельный

дебит. Чаще всего для этого используется опыт бурения, опробования и эксплуатации существующих водозаборных скважин, находящихся в этом районе и питающихся тем же водоносным горизонтом. Однако окончательно удельный дебит разведочно-эксплуатационной скважины устанавливается уже после ее бурения во время пробной или опытной откачки. Не всегда прогноз удельного дебита скважины в дальнейшем подтверждается, поэтому в проекте эту величину не следует завышать. При прогнозировании удельного дебита проектируемой скважины необходимо учитывать особенности местных гидрогеологических условий и намечаемую конструкцию ее.

## § 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПРОЕКТИРУЕМОЙ СКВАЖИНЕ

Максимальное понижение уровня воды, которое следует предусматривать при проектировании водозаборных скважин при использовании грунтовых вод, зависит от мощности водоносного горизонта, а при водозаборе из артезианских горизонтов — от величины напора. Иногда понижение лимитируется выбранным типом насоса. В настоящее время широкое распространение получили глубинные центробежные насосы, но и они имеют предел высоты подъема воды (см. главу II).

Как указывалось, удельный дебит по мере увеличения общего дебита скважины и понижения уменьшается, особенно при использовании безнапорных грунтовых вод. Исходя из сказанного, при проектировании совершенных разведочно-эксплуатационных скважин на грунтовые воды следует так рассчитывать величину максимального эксплуатационного понижения уровня воды, чтобы она составляла не более 40% мощности водоносного горизонта, а при проектировании несовершенных скважин не более 40% заглубления скважины в водоносный горизонт. В условиях напорных вод не следует проектировать скважины с динамическим уровнем, находящимся ниже кровли напорного горизонта. Только когда напор невелик по сравнению с мощностью водоносного горизонта, можно намечать эксплуатационное понижение ниже этой кровли, но скважина при этом будет работать уже как питаемая безнапорными (грунтовыми) водами.

Ограничение максимально возможного понижения уровня воды в проектируемой одиночной разведочно-эксплуатационной скважине до 40% осушения вскрытой мощности водоносного горизонта — вызвано стремление не допустить возникновения значительного повышения скорости воды в приствольной зоне водоносного горизонта, так как это может вызвать существенное увеличение значения скачка уровня (III.10) или вынос песка через фильтр скважины. Кроме того, нельзя исключить, что вследствие ограниченной водообеспеченности скважины динамический уровень воды в ней может снижаться продолжительный период времени.

Постепенное падение динамического уровня воды может быть обусловлено не только работой данной скважины. Во многих областях вследствие усиленного использования подземных вод, а также интенсивного осушения месторождений полезных ископаемых и водоотлива из горных выработок, происходит на больших территориях снижение зеркала грунтовых вод и падение пластового давления в артезианских водоносных горизонтах. В некоторых районах Московского артезианского бассейна пьезометрические уровни в водоносных горизонтах карбона снижаются на 1—2 даже 4 м в год. Подобное явление отмечается в Днепровско-Донецком артезианском бассейне, особенно на территории г. Харькова. Осушение железорудных месторождений КМА привело к обезвоживанию водоносных горизонтов грунтовых вод и к снижению пьезометрической поверхности артезианских вод в Белгородской, Курской и прилегающих к ним областей.

Все сказанное следует учитывать при проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин, выбирая такие исходные параметры, в том числе и намечаемое понижение уровня воды в них, которые бы обеспечивали полноценность этих скважин в течение многих лет их эксплуатации.

*ГЛАВА IV*

# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

## § 1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения наиболее пригодна пресная вода.

Пресные воды обычно приурочены к промытым и проточным водоносным горизонтам, залегающим в раскрытых геологических структурах (Н. К. Игнатович). Это обусловливает общие закономерности изменения химического состава подземных вод:

1) географическую горизонтальную зональность в распределении грунтовых вод различного химического состава;

2) вертикальную зональность в химическом составе артезианских вод, проявляющуюся в том, что минерализация артезианских вод, как правило, увеличивается и изменяется от верхних водоносных горизонтов к нижним;

3) повышение минерализации воды в водоносном горизонте по мере увеличения глубины его залегания, т. е. по направлению его падения;

4) повышение минерализации воды в водоносном горизонте при уменьшении водопроницаемости водоносных пород, а также при увеличении в нем количества водоупорных пород (глин и др.).

Изменение химического состава подземных вод, обусловленное общими закономерностями, осложняется еще местными гидрогеологическими условиями. Часто в одном и том же водоносном горизонте наряду с пресными водами отмечаются более минерализованные воды или, наоборот, среди минерализованных вод встречаются участки пресных вод.

Так, в Московском артезианском бассейне в одном и том же водоносном горизонте каменноугольных отложений отмечается некоторое опреснение воды на участках, в которых при прочих равных условиях уменьшается мощность покрывающих пород [20]. Как указывает У. М. Ахмедсафин [10], там, где в подошве меловых водоносных горизонтов в Тобол-Убаганском артезианском бассейне в Казахстане выклиниваются водоупорные слои, минерализация вод меловых отложений увеличивается вследствие притока минера-

лизованных вод из нижележащих водоносных горизонтов, то же наблюдается в Мугоджарах в зонах тектонических разломов. Некоторое увеличение минерализации грунтовых вод часто связано с появлением в зоне аэрации глинистых прослоев.

Иногда местные гидрогеологические условия оказывают настолько большое влияние, что они подавляют общие закономерности формирования химического состава подземных вод.

Химический состав подземных вод определяется климатическими условиями района; химическим составом поверхностных вод; рельефом местности; составом пород, слагающих водоносный горизонт, и пород, подстилающих и покрывающих его; условиями питания, движения и дренирования водоносного горизонта; характером и степенью взаимосвязи водоносных горизонтов; санитарными условиями района, окружающего местоположение скважины.

Однако влияние перечисленных факторов в разных условиях неодинаково. Химический состав грунтовых вод зависит от современных климатических условий, которые для артезианских вод не играют такой решающей роли.

Поверхностные воды могут изменять состав вод аллювиальных отложений, но не имеют значения для формирования состава грунтовых вод высоких междуречных пространств.

Рельеф земной поверхности определяет положение областей питания и районов дренирования подземных вод. Часто в районах дренирования наблюдается значительное повышение минерализации артезианских вод по сравнению с областями питания (например, в Самарской Луке и между Московским морем и Угличским водохранилищем на Волге, в долине среднего течения Камы, или, как указывает С. А. Шагоянц [132], в краевой части Терско-Кумского артезианского бассейна, приуроченной к пониженному прибрежью Каспийского моря).

Степень расчлененности рельефа поверхности земли оказывает существенное влияние на величину минерализации и состав грунтовых вод. На юге Западно-Сибирской низменности пресные грунтовые воды большей частью приурочены к районам, в которых более густо развиты глубокие долины проточной гидрографической сети, а в местах отсутствия таких долин минерализация указанных вод повышается [44].

В жарких и сухих областях среднеазиатских республик в пределах возвышенностей, где уровень грунтовых вод находится на значительной глубине, эти воды более пресные, чем в пониженных формах рельефа с близким залеганием водного зеркала, с которого происходит усиленное испарение.

Состав водовмещающих пород оказывает большое влияние на характер и степень минерализации подземных вод. Это влияние особенно сильно проявляется, когда сами породы или минеральные включения в них легко растворимы — например каменная и калийная соли, гипс, ангидрид, сульфат и т. д. В загипсованных слоях верхнего девона центральной части Русской платформы воды насы-

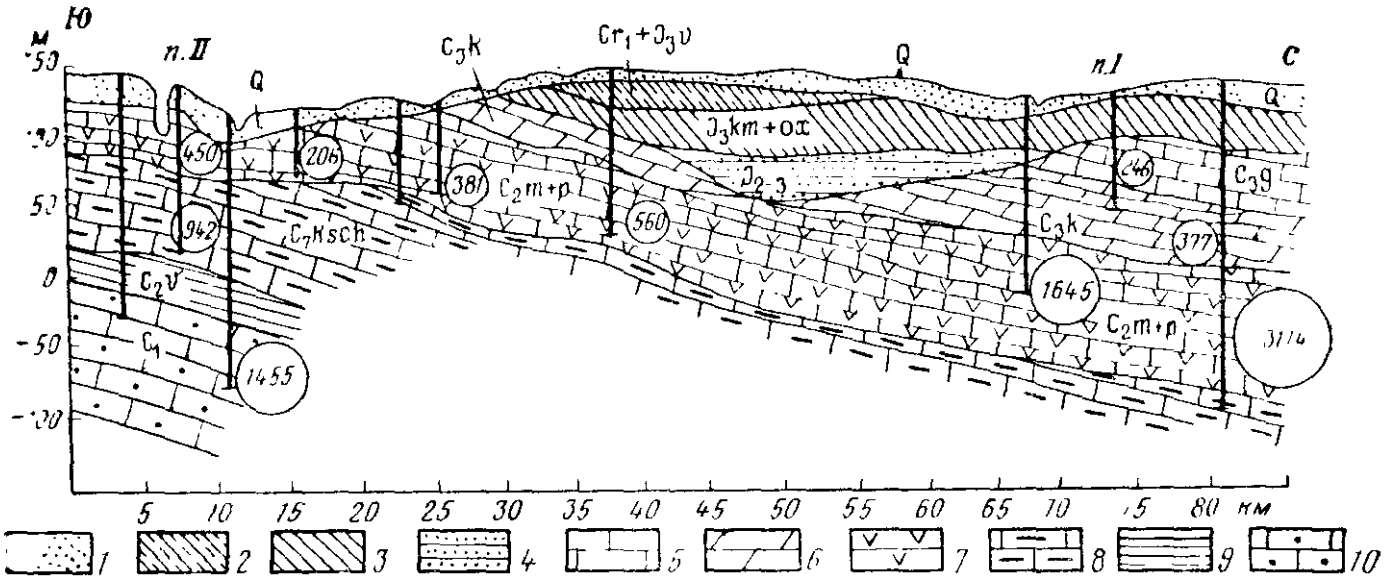



Рис. 12. Геолого-гидрохимический разрез г. Коломна — Куровская в Московском артезианском бассейне:

*1* — четвертичные пески и глины; *2* — пески, глины и фосфориты нижнего мела и волжского яруса верхней юры; *3* — глины кимериджского и оксфордского ярусов верхней юры; *4* — пески, супеси и глины континентальной толщи верхней — средней юры; *5* — известняки верхне-гжельского горизонта верхнего карбона; *6* — известняки и глины нижне-гжельского горизонта верхнего карбона; *7* — известняки мячковского и подольского горизонтов среднего карбона; *8* — известняки и глины каширского горизонта среднего карбона; *9* — глины верейского горизонта среднего карбона; *10* — известняки нижнего карбона. Величина круга соответствует относительному количеству сухого остатка в воде, а цифры в нем — вес его в мг/л; *п. 1* — Куровская; *п. II* — г. Коломна

щены сульфатами; в Урало-Эмбенской области в местах развития соляных куполов подземные воды обогащены хлоридами натрия, а при наличии в породах вкрапленного пирита воды имеют сульфатный состав. Однако не всегда химический состав подземных вод отражает химический состав водовмещающих пород. Часто в незасоленных и незагипсованных известняках, песчаниках и даже в кристаллических породах встречаются сильно минерализованные хлоридные или сульфатные воды. Это обусловлено тем, что на химический состав подземных вод, кроме состава водовмещающих пород, влияют и другие факторы, — степень водообмена, характер движения и взаимосвязи вод различных водоносных горизонтов и др.

Условия питания движения и дренирования подземных вод, а также характер и степень взаимосвязи водоносных горизонтов друг с другом являются очень важными факторами, определяющими химический состав подземных вод. Например, в каменноугольных отложениях Московского артезианского бассейна (рис. 12) известно несколько водоносных горизонтов, приуроченных к известнякам. Сопоставление минерализации воды в этих водоносных горизонтах показывает, что воды нижнего водоносного горизонта более минерализованы, чем воды водоносного горизонта, залегающего ближе к поверхности земли. В районе ст. Куровской сухой остаток воды из верхнегжельского водоносного горизонта составляет 246 мг/л,

из нижнегжельского 377 мг/л, а из мячковско-подольского — 1645 и даже 3114 мг/л. На территории г. Коломны сухие остатки вод мячковско-подольского и каширского водоносных горизонтов среднего карбона и водоносного горизонта нижнего карбона соответственно возрастают с 450 до 1455 мг/л.

Чем глубже залегает водоносный горизонт, тем более затруднены условия его питания и дренирования, а следовательно, водообмен в нем происходит слабее, чем в водоносном горизонте, лежащем ближе к поверхности земли. Слабый водообмен, сохраняющийся в течение длительного геологического времени, обусловливает и меньшую промытость пород горизонта.

На рис. 12 также видно, что минерализация воды мячковско-подольского водоносного горизонта непостоянная на различных участках. По направлению движения подземных вод на юг к рекам Москве и Оке, являющимся основными дренами, количество сухого остатка в них уменьшается. Вода опресняется вследствие уменьшения глубины залегания водоносного горизонта и сокращения мощности покрывающих его пород, поэтому облегчаются условия местного питания водоносного горизонта и увеличивается его водообмен.

В г. Коломне сухой остаток воды мячковско-подольского водоносного горизонта опять увеличивается до 450 мг/л. Это связано с тем, что территория города находится в пониженной местности при впадении р. Москвы в р. Оку, где происходит дренирование более минерализованных вод каширского водоносного горизонта и водоносного горизонта нижнего карбона.

Иногда минерализация вод уменьшается по направлению движения подземного потока вследствие разбавления их более пресными подземными водами.

Например, в понтическом и надпонтическом водоносных горизонтах неогена в Азово-Кубанском артезианском бассейне воды движутся с юго-востока на северо-запад в сторону Азовского моря, на пути этого основного подземного потока его воды разбавляются пресными водами, стекающими с южных отрогов северного склона Кавказа [105].

Однако, когда подземные воды не опресняются вследствие облегчения местного питания или их разбавления, минерализация этих вод возрастает от областей питания водоносного горизонта к районам его дренирования.

Санитарные условия имеют большое значение при формировании состава подземных вод в тех районах, где имеются крупные источники загрязнения.

Учитывая отмеченные закономерности формирования химического состава подземных вод при рассмотрении общих и местных гидрогеологических условий, можно более правильно подойти к выбору водоносного горизонта и участка для заложения разведочно-эксплуатационной скважины.

## § 2. О НЕКОТОРЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТАХ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Изучению содержания микроэлементов в подземных водах в настоящее время уделяется большое внимание. Это связано с широким развитием различных геохимических исследований, а также с тем, что работами гигиенистов и токсикологов установлена связь некоторых заболеваний людей и животных с наличием повышенного или недостаточного содержания ряда элементов, присутствующих в питьевых водах в микроколичествах. Таким образом, при сборе материалов для проектирования разведочно-эксплуатационных скважин на воду необходимо обращать внимание на данные о возможном присутствии в воде тех или иных микроэлементов с тем, чтобы в проекте предусматривалось определение их содержания в пробах, отобранных для химического анализа во время пробных или опытных откачек. Однако в некоторых достаточно изученных районах или областях можно заранее знать содержание некоторых микроэлементов в подземных водах, например фтора в водах каменноугольных отложений центральной части Московского артезианского бассейна [21, 38]. В этих случаях следует уже на стадии проектирования выбрать водоносный горизонт для питания скважины и участок для ее заложения, чтобы получить оптимальное содержание в воде микроэлемента.

Мышьяк, медь, цинк, свинец в подземных водах обычно встречаются в небольших количествах и содержание их значительно ниже допустимых гигиенических норм. Однако в районах, где известны скопления руд этих металлов, встречаются подземные воды с повышенным количеством указанных элементов. Так, на одном полиметаллическом месторождении подземные воды содержат до 10 мг/л мышьяка. На реке в месте выхода источников был построен водозабор водопровода рудника, но он не был пущен в эксплуатацию, так как речная вода содержала здесь токсичное количество мышьяка. Содержание меди в подземных водах в районах рудных месторождений может достигать сотен миллиграммов на 1 л, цинка нескольких граммов на 1 л, свинца нескольких миллиграммов на 1 л.

Таким образом, если разведочно-эксплуатационную скважину намечается соорудить в районе месторождения цветных металлов или зоны оруденения, то необходимо точку ее заложения увязать с контурами рудных полей, чтобы поток подземных вод, движущийся к скважине, не затрагивал породы, содержащие оруденение.

Состав микроэлементов в подземных водах часто значительно изменяется даже в пределах одной гидрогеологической области при относительно постоянном химическом составе этих вод. П. А. Удодов и В. М. Матусевич указывают, что на Томь-Яйском междуречье в зоне нарушений Томь-Колыванской складчатости в подземных водах повышается содержание свинца, меди, цинка, сурьмы, бария, никеля, хрома и титана, а в зонах нарушения древних комплексов

Кузнецкого Алатау цинка, никеля, хрома, титана, серебра и мышьяка.

В подземных водах широко распространен фтор. Воды с большим содержанием фтора (до 15—20 мг/л) встречаются в изливших породах в районах проявления молодого вулканизма. Фтор здесь выносится лавами или выделяется в виде газа из недр земли. Значительное содержание фтора в подземных водах иногда отмечается также в районах залегания магматических кислых кристаллических пород. Так, в водах гранитного массива Кокчетау концентрация фтора часто находится в пределах от 4 до 8,5 мг/л. Наибольшее количество его отмечается в водах, приуроченных к пегматитовым жилам, содержащим флюорит, турмалин и другие фторсодержащие минералы [8].

Приуроченность вод с повышенным содержанием фтора к кристаллическим магматическим породам установлена и в Узбекистане, причем более интенсивно фтор выщелачивается из пород коры выветриванием [123].

Повышенные количества фтора отмечаются в водах, циркулирующих и в осадочных породах. Источниками фтора в этих водах могут быть флюорит, рассеянный в известняках и доломитах, и фосфорит, присутствующий во многих отложениях юрского и мелового периодов.

Наиболее детально характер распространения фтора в подземных водах изучен в Московском артезианском бассейне, где для водоснабжения широко используются воды каменноугольных известняков и доломитов. Эти воды местами содержат до 6 мг/л фтора, причем количество его в подземных водах этого бассейна возрастает в глубоко залегающих водоносных горизонтах карбона. В одном и том же пункте более глубокие скважины, как правило, дают воды с большим содержанием фтора, чем скважины, имеющие меньшую глубину [21]. Однако, накопление фтора в подземных водах ограничивается содержанием в этих водах иона кальция; наибольшие концентрации фтора в воде отмечаются при содержании в них кальция в пределах 30—50 мг/л. С увеличением в воде количества кальция (гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магнитных водах) растворимость рассеянного флюорита понижается. Поэтому, при относительно глубоком залегании того или иного водоносного горизонта карбона, предельное содержание фтора в воде не превышает предела растворимости его —3 мг/л.

В более пресных водах растворимость флюорита повышается, что и обусловливает накопление в них фтора до 5—6 мг/л [38].

Воды каменноугольных отложений обогащаются фтором и в пониженных участках, примыкающих к рекам основной гидрографической сети, где происходит дренирование артезианских водоносных горизонтов. В высоко залегающих, а также в хорошо промытых горизонтах карбона воды содержат небольшое количество фтора от 0,4 до 1 мг/л.

Значительные колебания содержания фтора в подземных водах от 0,2 до 20 мг/л установлены в Молдавии. Содержание фтора в водах четвертичных и неогеновых отложений обычно не превышает 1.3 мг/л (более часто от 0,2 до 0,5 мг/л), но в водоносных горизонтах понта местами количество фтора в воде достигает 3,6 мг/л, а среднего и нижнего сармата до 19 мг/л. В водах верхнего мела и юры концентрации фтора увеличиваются с севера на юг по мере погружения этих пород от 0,2 до 13,5 и от 0,2 до 10 мг/л соответственно. Наиболее часто концентрации фтора до 20 мг/л отмечаются в водах палеозойских отложений [97]. Повышенные количества фтора в подземных водах связывают со значительным содержанием в них $Na_2CO_3$ и $NaHCO_3$, в присутствии которых фтор интенсивно выщелачивается из пород [67]. При увеличении содержания в воде $CaCO_3$ и $Ca(HCO_3)_2$ растворимость фторосодержащих минералов понижается.

В Днепровско-Донецком артезианском бассейне воды с высоким содержанием фтора (от 1,5 до 5,5 мг/л) приурочены к бучакскому водоносному горизонту среднего палеогена водовмещающие пески которого содержат значительное количество фосфорита [42].

В Центральном Казахстане воды с содержанием фтора до 2,5 мг/л были обнаружены в скважинах, питающихся водоносными горизонтами юрских отложений и трещиноватых пород палеозоя [75]. Воды палеогеновых и верхнемеловых кварцево-глауконитовых отложений в бассейне рек Мугай, Туре и Исеть на восточном склоне Урала содержат повышенные количества фтора. Особенно большое содержание фтора отмечается в воде скважины у дер. Торопово и в колодцах дер. Пологоозерье Табол-Ишимского междуречья — соответственно 8,1 и 6,9 мг/л [28].

Таким образом, имеющиеся материалы дают основание предполагать, что воды с повышенным количеством фтора в осадочных породах можно встретить в относительно плохо промытых водоносных горизонтах, имеющих затрудненное местное питание, приуроченных к известнякам и доломитам, а также к фосфоритоносным отложениям.

Воды с количеством фтора меньше 0,5 мг/л в основном отмечаются в горизонтах грунтовых вод, приуроченных к аллювиальным и ледниковым пескам, а также к трещиноватым магматическим и метаморфическим породам, не содержащих фтористых минералов.

Имеется большое количество материалов о распространении в подземных водах йода, полученных в связи с изучением поражения населения эндемическим зобом. Содержание йода в подземных водах колеблется в больших пределах, но наиболее часто изменяется от 0.01 до 0,001 мг/л [113]. Более высокое содержание этого микроэлемента (до 100 мг/л) отмечается уже в минерализованных йодобромных водах, находящихся в глубоких горизонтах нефтеносных отложений.

Многочисленными исследованиями [33, 93 и др.] установлено, что пресные подземные воды, бедные йодом (содержание меньше 0,001 мг/л), встречаются в основном в горных областях в аллювиальных песках и галечниках, а также в кристаллических трещиноватых породах. В равнинных областях такие воды отмечаются в местностях, удаленных от морских побережий, в ледниковых песках.

Один из существенных источников поступления йода в грунтовые воды — атмосферный воздух и дождевые воды, проникающие в горные породы. Но подземные воды обогащаются этим элементом также в результате растворения и выщелачивания самих водоносных пород. Поэтому воды, находящиеся в породах морского происхождения, обычно содержат относительно повышенные количества йода.

В грунтовых водах Эстонии содержание йода большей частью равно от 0,0015 до 0,003 мг/л, а в водах девонских отложений (глубины скважин 50—200 м) — от 0,0017 до 0,0068 мг/л. Наибольшее количество йода от 0,013 мг/л и выше отмечается в водах верхнего кембрия.

Исследованиями последних лет установлено, что содержание стронция в пресных подземных водах более высокое, чем предполагалось ранее, и может достигать величин, имеющих гигиеническое значение.

По данным А. П. Виноградова [33], отношение $Ca^{++}$ : : $Sr^{++}$ в пресных подземных водах более или менее постоянно и составляет около 200. Так как содержание в этих водах кальция, как правило, не превышает 100—150 мг/л, то, исходя из сказанного, количество стронция в них должно составлять всего десятые доли миллиграмма на 1 л. Однако К. И. Лукашев и А. П. Маркова [83] установили, что в некоторых районах Белоруссии в слабоминерализованных гидрокарбонатных водах четвертичных флювиогляциальных песков содержание стронция колеблется от 2,1 до 7 мг/л при отношении $Ca^{++}$ : $Sr^{++}$, меняющемся от 3 до 86. Исследованиями В. А. Книжникова и Н. Я. Новиковой обнаружено высокое содержание стронция в подземных водах, используемых для водоснабжения в ряде районов СССР (табл. 10). Содержание стронция в речных водах СССР по тем же данным колеблется от 0,2 до 1,1 мг/л.

Из табл. 10 видно, что значительное количество стронция (более 10 мг/л) устанавливается в водах карбонатных пород нижнего неогена, среднего карбона и верхнего девона. Однако не всегда в водах верхнего девона количество стронция повышено, даже в пределах одного населенного пункта содержание его значительно колеблется.

В областях развития карбонатных пород воды с несколько повышенным количеством стронция, по-видимому, могут отмечаться и в аллювиальных отложениях, залегающих в долинах рек, в которых происходит интенсивное дренирование вод коренных пород (например, в районе пос. Большая Волга).

*Таблица 10*

**Содержание стронция в пресных водах водозаборных скважин в ряде районов СССР**

| Местоположение | Водоносный горизонт | Содержание стронция в воде, мг/л | $Ca^{++} : Sr^{++}$ |
|---|---|---|---|
| Пос. Большая Волга Московской области | Аллювиальный долины р. Волги | 3,2 | 30 |
| г. Баку, Шаларский водозабор | Четвертичный пролювий | 0,8 | 65 |
| г. Кишинев | Сарматский | 8,0—11,8 | 11—12,5 |
| » Полтава | Бучакский | 0,8 | 14 |
| » Львов | Турон-сенонский | 2,5 | 33,6 |
| » Вильнюс | Верхнемеловой | 0,8 | 85 |
| » Полтава | Сеноманский | 0,3 | 12 |
| » Киев | » | 0,7—1,1 | 71—117 |
| » Чита | Меловой | 0,5—0,6 | 24—53 |
| » Чита | Юрский | 0,9—1,6 | 13—37 |
| » Иркутск | » | 0,7 | 6,9 |
| » Полтава | » | 0,5 | 7,4 |
| » Киев | » | 0,8—1,3 | 92—105 |
| » Талдом Московской обл. | Гжельский | 2,3 | 29 |
| » Балашиха Московской обл. | Мячковско-подольский | 17,9 | 9 |
| Поселок Салтыковка Московской области | » | 15,9 | 2,9 |
| г. Орел | Верхнедевонский | 0,5—0,6 | 164—216 |
| » Смоленск, новая скважина | » | 1,35 | 60 |
| То же, скв. 3 | » | 11,6 | 7,7 |
| » скв. 5 | » | 13,7 | 6,5 |

Используя данные В. А. Книжникова и Н. Я. Новиковой, Ю. И. Ворошилов [37] установил, что в подземных источниках водоснабжения карбона и верхнего девона в центральных областях Европейской части СССР содержание стронция больше 1,5 мг/л отмечается к востоку и северу от линии Селижарово-Спас-Деменск-Ново-Московск-Ряжск. По направлению погружения этих пород на восток и северо-восток количество стронция в их водах вначале увеличивается до 20—28 мг/л, а затем уменьшается до 12 мг/л. В водах девона содержание стронция больше, чем в водах карбона.

Значительное количество стронция в некоторых подземных водах отмечается не только на территории СССР; как указывают М. С. Николс, Д. Р. Макнол [139], в водах 380 коммунальных водопроводов штата Висконсин в США содержание стронция колеблется от 0,1 до 39,1 мг/л. Большие количества стронция в водах обнаруживаются на территориях, расположенных вдоль восточной прибрежной границы этого штата.

Опубликованных материалов о содержании стронция в пресных подземных водах пока еще мало, но следует ожидать, что в ближайшее

время изучению распространения его в этих водах будет уделено большое внимание.

В пресных подземных водах всегда в том или ином количестве присутствуют органические вещества [5, 110 и др.]. Органическое вещество в подземных водах находится в растворенном и коллоидном состоянии. В грунтовых и артезианских водах зоны повышенного водообмена органические вещества в основном представлены гумусом. Кроме того, в относительно небольших количествах в них встречаются нафтеновые кислоты [4]. В аллювиальных водах севера Европейской части СССР содержание гумуса достигает 25 мг/л и нафтеновых кислот до 0,7 мг/л.

Количество гумуса в водах каменноугольных отложений Московского артезианского бассейна составляет от 4 до 5 мг/л. Повышенное содержание в пресных подземных водах нафтеновых кислот, а также фенолов отмечается в районах распространения нефтеносных отложений.

Присутствие в подземных водах железа, в основном, зависит от наличия в водовмещающих породах железистых минералов и содержания в этих водах углекислоты, кислорода и органических веществ. Повышенное количество закисного железа, выше 3 мг/л и более, обычно отмечается в водах водоносных горизонтов, приуроченных к терригенным, особенно аллювиальным и ледниковым породам. При извлечении указанных вод закисное железо окисляется кислородом воздуха и переходит в окисное, образуя при этом бурый осадок гидрата окиси железа. Но часто значительное количество окисного железа в водах, извлекаемых из скважин, связано не с природными процессами, а с коррозией фильтров водоподъемных и обсадных труб самих скважин.

Особое значение в последние два десятилетия придается содержанию в подземных водах естественных радиоактивных элементов: урана, радия и радона. Согласно опубликованным данным распространение этих радиоактивных элементов в подземных водах зависит в основном от состава и текстуры водовмещающих пород, содержания в них урана и радия, а также от интенсивности водообмена в водоносном горизонте (табл. 11).

Более высокое содержание радиоактивных элементов отмечается в подземных водах, приуроченных к кислым магматическим породам. При прочих равных условиях количество урана относительно больше в водах, находящихся в зоне интенсивного водообмена, по сравнению с зоной затрудненного водообмена; в распространении же радия наблюдается обратная картина.

Уран в природных условиях встречается четырехвалентный и шестивалентный. В зоне интенсивного водообмена, где в подземных водах присутствует свободный кислород, уран окисляется до шестивалентной формы, соединения которой хорошо растворяются в воде.

В глубоких горизонтах в условиях восстановительной среды (в зоне затрудненного водообмена) уран в горных породах находится

*Таблица 11*

**Содержание радона, радия и урана в природных водах (по А. Н. Токареву и А. В. Щербакову [118])**

| Воды | Природные условия | Радон, эманы * | | | Радий, г/л | | | Уран, г/л | | | $\frac{R_a}{U}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | min | max | среднее | min | max | среднее | min | max | среднее | |
| 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 | $2{,}5 \cdot 10^{-13}$ | $4{,}2 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-13}$ | $2 \cdot 10^{-8}$ | $5 \cdot 10^{-5}$ | $6 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-7}$ |
| Осадочных пород | Зона интенсивного водообмена . . . . | 1 | 50 | 15 | $1 \cdot 10^{-12}$ | $6 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-7}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-7}$ |
| | Зона весьма затрудненного водообмена | 1 | 20 | 6 | $1 \cdot 10^{-11}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ | $3 \cdot 10^{-10}$ | $2 \cdot 10^{-8}$ | $6 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Кислых магматических пород | Зона интенсивного водообмена (воды коры выветривания) | 10 | 400 | 100 | $1 \cdot 10^{-12}$ | $7 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-12}$ | $2{,}7 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-6}$ |
| | Зона затрудненного водообмена (воды глубоких тектонических трещин) . . | 8 | 400 | 100 | $2 \cdot 10^{-12}$ | $9 \cdot 10^{-12}$ | $4 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ |
| Урановых месторождений | Зона интенсивного водообмена (воды зоны окисления) | 50 | 50 00 | 1000 | $8 \cdot 10^{-12}$ | $2 \cdot 10^{-9}$ | $8 \cdot 10^{-11}$ | $5 \cdot 10^{-5}$ | $9 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| | Зона затрудненного водообмена (воды зоны восстановления) . . . . . | 50 | 3000 | 500 | $1 \cdot 10^{-11}$ | $8 \cdot 10^{-10}$ | $6 \cdot 10^{-11}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ |

* Эман $= 1 \cdot 10^{-10}$ Ku/л.

в четырехвалентной форме, образующей очень плохо растворимые соединения.

На содержание в подземных водах радия большое влияние оказывает солевой состав воды — в основном состав катионов. При повышенном содержании в минерализованных водах катионов (особенно кальция) они обогащаются радием в результате вытеснения его из горных пород.

Количество радона в подземных водах определяется не только содержанием в них и в водоносных породах радия, продуктом распада которого он является, но также пористостью (раскрытостью) горных пород. Радон имеет небольшой период полураспада (3,82 дня), вследствие чего, образуясь из радия, находящегося в горных породах, он должен сравнительно быстро поступить в подземные воды, чтобы обогатить их.

Из приведенного материала видно, что естественные радиоактивные элементы широко распространены в подземных водах. Поэтому, когда в водах вскрытого водоносного горизонта содержание этих элементов неизвестно, необходимо в дополнение к обычному химическому анализу в проекте разведочно-эксплуатационной скважины предусматривать еще радиохимический анализ пробы воды, взятой во время пробной или опытной откачки.

Кроме микроэлементов, о которых было сказано, в пресных подземных водах встречается много и других элементов, содержащихся в микроколичествах (барий, бром, молибден, цезий, кобальт и др.). Так, в водах аллювиальных отложений предгорных районов западной части Закарпатской области количество бора достигает 40 мг/л [88]. Однако не всегда известно влияние указанных микроэлементов в питьевых водах на здоровье населения и животных и, кроме того, распространение их в пресных подземных водах изучено еще недостаточно.

*ГЛАВА V*

# ВЫБОР ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА И УЧАСТКА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Одним из основных вопросов проектирования разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения является обоснование выбора водоносного горизонта и участка для бурения.

Если в районе имеется не один, а несколько водоносных горизонтов с пресной водой, которые можно использовать для водоснабжения, то при выборе водоносного горизонта для питания скважины необходимо учитывать требуемый расход воды. При большом расчетном расходе, превышающем 50—100 м³/ч, следует стремиться использовать самый водообильный водоносный горизонт. Если же требуемый расход воды невелик, то не всегда целесообразно проектировать скважину на водоносный горизонт, характеризующийся в данном районе наибольшей водообильностью. Например, в районах, приуроченных к Клинско-Дмитриевской гряде в центральном районе Европейской части СССР, для централизованного водоснабжения обычно используются воды верхнекаменноугольных известняков, кровля которых залегает на глубине 200—300 м от поверхности земли, а статический уровень воды располагается на глубине 60—100 м.

Вышележащие мезозойские и четвертичные отложения представлены глинами и мелкозернистыми глинистыми песками; последние характеризуются слабой водоотдачей, и из них получить воду скважинами очень трудно. Однако в долинах некоторых рек отмечается высокая пойменная терраса, сложенная крупнозернистыми водоносными песками. Скважины, вскрывающие водоносный горизонт этих песков, при глубине 15—25 м дают удельный дебит 5—10 м³/ч, что вполне обеспечивает потребности мелких и средних объектов водоснабжения (колхозов, совхозов, пионерских лагерей, домов отдыха и т. д.). Уровень воды в этих скважинах находится на глубине 2—4 м, что дает возможность поднимать воду обычными центробежными насосами с горизонтальной осью.

В районах с ограниченными ресурсами подземных вод (например, во многих районах области развития пермских пород Заволжья, в юго-восточной части Украины, в Средней Азии и т. д.) нужно выбирать наиболее водообильный водоносный горизонт, содержащий пресную воду. Следует проектировать скважину оптимальной глубины и закладывать ее на участке с гидрогеологическими условиями,

обеспечивающими получение наибольших количеств пресной воды. Поэтому участок заложения скважины может находиться на значительном расстоянии от места потребления воды. Подобные условия иногда встречаются не только в слабообводненных областях, но и в пределах крупных артезианских бассейнов с огромными ресурсами подземных вод (например, в Московском).

Так, на большей части своего распространения нижнегжельский водоносный горизонт верхнего карбона в Московской области характеризуется большим водообилием, удельные дебиты скважин, питающихся им, равны 15—25 м³/ч. Но в районах, примыкающих к южной границе его распространения, этот горизонт местами состоит из известковых глин и скважины, вскрывшие его, оказываются практически безводными (районы городов Клин, Солнечногорск, Балашиха, железнодорожная станция Гжель и др.). Однако в этих же районах встречаются участки, в которых глины фациально переходят в известняки, и скважины, пройденные на указанный водоносный горизонт, имеют значительную водообильность (удельные дебиты 10—20 м³/ч).

Местные гидрогеологические условия оказывают очень большое влияние на распределение водных ресурсов в водоносных горизонтах, а также и на химический состав воды в них. Нередко в слабообводненных областях встречаются отдельные участки, из которых можно получить значительные количества подземных вод. Однако каждому типу гидрогеологического региона свойственны свои особенности использования подземных вод. Согласно карте гидрогеологического районирования, составленной Г. Н. Каменским, М. М. Толстихиной и Н. И. Толстихиным [64], на территории СССР выделяются следующие типы гидрогеологических структур: артезианские бассейны платформ, артезианские бассейны складчатых областей, гидрогеологические массивы и складчатые области.

Артезианские бассейны платформ характеризуются выдержанным залеганием осадочных пород и большей частью содержат несколько артезианских горизонтов, отделенных друг от друга водоупорными или слабопроницаемыми образованиями. Пресные воды обычно встречаются в верхних горизонтах, а в нижних горизонтах содержатся минерализованные воды, непригодные для водоснабжения.

Артезианские бассейны складчатых областей приурочены к синклинальным структурам и имеют сложное тектоническое строение. Обводненность водоносных горизонтов большей частью невыдержанная с резким различием глубин залегания горизонтов.

В гидрогеологических массивах для водоснабжения, как правило, представляют интерес грунтовые воды; условия для бурения разведочно-эксплуатационных скважин на глубокие напорные воды здесь обычно неблагоприятные.

Общие данные об условиях использования подземных вод в различных областях территории СССР приведены в работах [64, 82 и др.], а также в специально изданных мелкомасштабных картах.

Очень полезные данные для определения перспективного водоносного горизонта можно получить из материалов томов «Гидрогеология СССР», издание которых было начато в 1966 г. К 1 января 1973 г. было издано 41 том по разным областям Советского Союза, а всего намечено выпустить 45 томов. Все тома составлены, примерно, по одному плану. Они содержат четыре части. В первой части освещаются физико-географические условия и геологическое строение. Во второй части дается характеристика всех водоносных горизонтов, установленных в пределах описываемой площади, рассматриваются вопросы формирования подземных вод и гидрогеологическое районирование территории. Третья часть посвящена ресурсам и использованию подземных вод для водоснабжения, вопросам охраны этих вод, минеральным и промышленным водам и гидрогеологическим условиям месторождений полезных ископаемых. Четвертая часть освещает инженерно-геологические условия территории.

Таким образом, основная задача гидрогеолога, проектирующего разведочно-эксплуатационную скважину на воду, состоит в познании общих, а также местных гидрогеологических особенностей района, определяющих водообильность скважин и состав подземных вод. Это должно быть сделано на основе гидрогеологических материалов и опыта эксплуатации водозаборных скважин в данном районе. Анализ указанных материалов должен быть положен в основу выбора водоносного горизонта для питания проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины и выбора места ее бурения.

## § 1. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ РЫХЛЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД МЕЖДУРЕЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ

В рыхлых осадочных породах водозаборные скважины обычно получают воду из толщ водоносных песков и галечников. В природных условиях эти толщи бывают неоднородны по составу и водопроницаемости, в них встречаются линзы и пласты глин, разобщающие водоносную толщу на отдельные подгоризонты, причем в нижних подгоризонтах вода иногда находится под напором.

Часто значительную водообильность имеют ледниковые отложения, широко развитые в северных и центральных областях СССР, где они слагают обширные площади междуречных пространств. Ледниковые флювиогляциальные пески местами образуют довольно мощные толщи, а иногда встречаются в виде изолированных линз. Отмечаются надморенные, внутриморенные, межморенные и подморенные пески и песчано-гравийно-галечниковые отложения.

В надморенных образованиях обычно встречаются грунтовые воды, зеркало которых находится сравнительно неглубоко от поверхности земли. Воды внутриморенных, межморенных и подморенных песков и песчано-гравийно-галечниковых отложений часто напорные. Ледниковые образования имеют непостоянный

механический состав, поэтому водопроницаемость и водоотдача их различны.

В северных и северо-западных районах Европейской части СССР наиболее мощные скопления крупнозернистых флювиогляциальных гравийно-галечниковых песков отмечаются в озовых отложениях, поэтому бурение разведочно-эксплуатационных скважин на воду на участках распространения озов, камов и других подобных форм ледникового рельефа перспективно.

В более южных районах большие скопления флювиогляциальных песков встречаются в древних ледниковых долинах, которые часто в современном рельефе выражаются в виде вытянутых понижений. На эти понижения современного рельефа поверхности земли следует обращать внимание при выборе места заложения разведочно-эксплуатационной скважины.

В некоторых районах, например в Белорусской ССР, межморенные и подморенные пески образуют мощные толщи, к которым приурочены водообильные водоносные горизонты, обеспечивающие водой крупные водозаборы (водозаборы г. Минска).

Во многих областях южной окраины распространения ледниковых отложений флювиогляциальные пески залегают в форме отдельных линз, поэтому очень трудно определить по геоморфологическим признакам участки, благоприятные для заложения разведочно-эксплуатационных скважин. Часто в этих областях для получения небольших количеств воды целесообразнее соорудить шахтный колодец, чем бурить скважину.

При использовании слабоводообильных водоносных горизонтов небольшой мощности шахтный колодец как водозаборное сооружение по сравнению с буровой скважиной имеет следующие преимущества:

а) фильтрующая поверхность колодца на единицу длины его приемной части больше, чем у скважины, поэтому при одной и той же глубине вскрытия водоносного слоя приток воды в колодец более обилен;

б) вследствие того, что сечение колодца больше сечения скважины, забор воды из него может обеспечиваться не только постоянным притоком воды из водоносного горизонта, как в скважине, но и объемом воды, который находится в нем.

Междуречные пространства в южных и юго-восточных районах Советского Союза бедны пресными грунтовыми водами. Это обусловлено сухостью климата, развитием лёссовых и иногда засоленных пород. Однако в областях, где вблизи поверхности земли залегают толщи песков, как, например, в области развития отложений ергенинской толщи на юго-востоке Европейской части СССР, образуются довольно мощные водоносные горизонты пресных грунтовых вод.

Вследствие близкого нахождения грунтовых вод от поверхности земли климатические условия являются одним из основных факторов, определяющих химический состав этих вод. В связи с этим

и минерализация грунтовых вод тесно связана с климатической зональностью.

Идея о зональности грунтовых вод, высказанная в конце прошлого столетия В. В. Докучаевым, была затем развита Н. В. Отоцким, В. С. Ильиным, Ф. П. Саваренским, О. К. Ланге, Г. Н. Каменским и др.

Г. Н. Каменский [63] предложил подразделить грунтовые воды на территории Советского Союза на два генетических типа: грунтовые воды выщелачивания (обычно пресные) и минерализованные грунтовые воды континентального засоления.

Грунтовые воды выщелачивания приурочены к северным и центральным частям территории СССР, а также к горным районам, климат которых характеризуется повышенной влажностью. Здесь инфильтрация атмосферных осадков преобладает над испарением и состав грунтовых вод формируется под влиянием процессов выщелачивания горных пород.

На Крайнем Севере вследствие усиленного питания и интенсивного движения грунтовых вод водовмещающие породы хорошо промыты, из них удалены легко растворимые вещества, поэтому воды характеризуются весьма слабой минерализацией и небольшим сухим остатком (до 100—150 мг/л); состав этих вод гидрокарбонатно-кремнеземный.

К югу в связи с уменьшением влажности климата и меньшей промытостью пород появляются гидрокарбонатно-кальциевые воды с сухим остатком 300—500 мг/л; в самой южной части области распространения вод выщелачивания отмечаются сульфатные и сульфатно-хлоридные воды, плотный остаток в которых часто превышает 1000 мг/л.

Изменение химического состава грунтовых вод осложняется в зависимости от местных условий. Даже в северных районах среди пресных грунтовых вод можно встретить воды с повышенной минерализацией. Такие воды бывают приурочены к изолированным водоносным линзам флювиогляциальных песков, залегающих внутри моренных глин. Наличие в кровле водоносной линзы толщи водоупорных моренных глин затрудняет питание и дренирование вод, и поэтому они застаиваются и обогащаются солями.

Наиболее часто участки, в которых грунтовые воды имеют относительно повышенную минерализацию, отмечаются в южных районах области распространения вод выщелачивания. Здесь они приурочены к местам, имеющим затрудненное питание атмосферными осадками и плохо дренируемым местной речной и овражной сетью.

Минерализация грунтовых вод значительно повышается на участках залегания соленосных и загипсованных пород. Подобные участки часто встречаются в области развития пермских пород между Уралом и р. Волгой.

Таким образом, в области развития грунтовых вод выщелачивания для бурения разведочно-эксплуатационных скважин следует выбирать места, в которых по геоморфологическим и гидрогеологическим

данным можно ожидать усиленного обмена этих вод. Наличие вблизи участка глубокой дрены (оврага или долины реки) благоприятно для нахождения слабоминерализованных вод. Чем больше расчленен современный рельеф, тем больше вероятность встретить на возвышенных междуречных пространствах пресные грунтовые воды. Лучшая водопроницаемость водовмещающих и покрывающих их пород также указывает на наличие более пресных вод.

В областях континентального засоления (юго-восток Европейской части СССР, Казахстан, республики Средней Азии) приходная часть баланса грунтовых вод состоит из инфильтрации атмосферных осадков, стока с окружающих возвышенностей и конденсации водяных паров воздуха, проникающего в породы зоны аэрации, расходную же часть в основном составляют испарение и в меньшей мере поглощение влаги растениями. Испарение происходит не только со свободных водных поверхностей и с поверхности земли, смоченной дождями, но также и с поверхности грунтовых вод. Последнее явление тем интенсивнее, чем меньше глубина залегания водоносного горизонта.

Обычно в этих областях испарение превышает величину инфильтрации атмосферных осадков. Особенно это наблюдается в пониженных равнинных территориях с высоким стоянием уровня грунтовых вод. Здесь образуются солончаки, содержащие минерализованные воды хлоридно-сульфатно-натрового состава. На степень минерализации грунтовых вод в областях континентального засоления большое влияние оказывает еще характер водовмещающих пород, которые на больших площадях широко представлены молодыми, плохо промытыми засоленными морскими осадками.

Наряду с минерализованными хлоридно-сульфатно-натровыми водами отмечаются более пресные гидрокарбонатно-натровые грунтовые воды, где инфильтрационное питание больше испарения. Чаще всего это повышенные участки с расчлененным рельефом поверхности земли или песчаные бугры-барханы, в которых влага накопляется вследствие конденсации паров воздуха, или пониженные территории, заливаемые речными водами во время паводков. Значительное влияние на опреснение грунтовых вод в районах континентального засоления оказывает наличие дренирующей сети, обусловливающей повышенный водообмен и лучшую промытость водовмещающих пород [65].

Таким образом, в областях континентального засоления наиболее благоприятные участки для получения пресных грунтовых вод приурочены к песчаным возвышенностям и к зонам, прилегающим к рекам.

## § 2. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОДАХ ПРЕДГОРНЫХ РАВНИН

Для получения пресных вод весьма перспективны предгорные окраины области распространения вод континентального засоления — предгорья Кавказа, Копет-Дага, Памира, Тянь-Шаня и

других, где в отложениях конусов выноса потоки пресных грунтовых вод движутся с гор по направлению к низменности. Основные черты геологического строения и гидрогеологических условий представляются в таких районах в следующем виде.

Склоны горных хребтов сложены разнообразными кристаллическими и метаморфизованными породами. Они окаймляются предгорным шлейфом, состоящим из рыхлообломочных отложений. Этот шлейф представляет собой систему слившихся крупных и мелких конусов выноса горных речек. Строение его обусловливается развитием мощной толщи крупнообломочного материала — галечников с подчиненными прослоями и линзами песчано-гравийных отложений. Общая мощность этой толщи достигает нескольких сотен метров.

Непосредственно у предгорий преобладают наиболее крупные фракции, по мере удаления от предгорий содержание их уменьшается. Толща галечников с поверхности перекрывается песчано-глинистыми отложениями, мощность которых изменяется от 1 до 10 м и более на межконусных участках.

По мере удаления от предгорий галечниково-гравийная толща все больше погружается под покров лёссовидных суглинков пролювиальной равнины (рис. 13).

Литологический состав отложений в полосе, прилегающей к предгорному шлейфу, отличается пестротой. Для этой полосы характерны частое чередование слоев глины, суглинков, супеси, песка и гравия, небольшая мощность слоев, их линзообразное залегание и выклинивание на сравнительно коротких расстояниях.

В более удаленных от гор участках преобладают суглинки; песок и гравий имеют подчиненное развитие. Вертикальный разрез толщи представляет не однородную по механическому составу массу, а многократное чередование слоев галечника, гравия, супесей, суглинков и глин. По мере увеличения мощности последних в направлении от предгорий уменьшаются мощность и количество слоев галечников; соответственно уменьшается крупность гальки и увеличиваются примеси в них гравия и песка. Последовательность чередования и изменения слоев, различных по гранулометрическому составу (по вертикали), не выдерживается и в горизонтальном направлении (рис. 14).

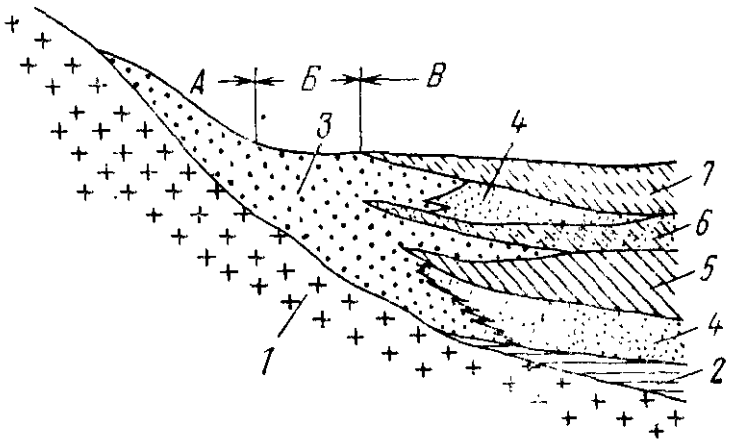



Рис. 13. Схема строения конуса выноса (продольное сечение):

*А* — зона инфильтрации; *Б* — зона дренирования; *В* — зона погружения водоносного горизонта и напора подземных вод.

*1* — подстилающие коренные породы; *2* — глины; *3* — гравийно-галечниковые и крупнопесчаные отложения; *4* — среднезернистые пески; *5* — суглинки; *6* — мелкозернистые глинистые пески; *7* — лёссовидные суглинки

Рельеф поверхности и геологическое строение пред-

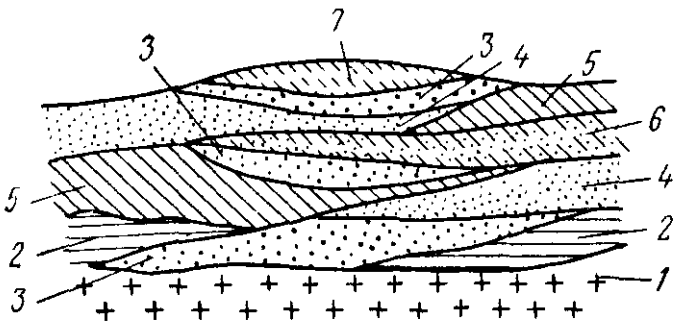



Рис. 14. Схема строения конуса выноса в зоне погружения водоносных горизонтов (поперечное сечение)

Условные обозначения те же, что на рис. 13.

горных районов весьма благоприятны для питания подземных вод в повышенной части области конуса выноса.

Особенно интенсивно питание подземных вод атмосферными осадками, горными потоками, образующимися в результате таяния высокогорных ледников, и водами с орошаемых полей и ирригационных сетей происходит в участках, где галечниковые толщи конусов выноса выходят на поверхность земли.

В области предгорий обычно можно выделить зоны: *А* — инфильтрации, *Б* — дренирования подземных вод, *В* — погружения водоносного горизонта и напора подземных вод.

Зона инфильтрации является зоной питания или формирования подземного водного потока. В непосредственной близости к горам водоносный горизонт, сложенный галечником, гравием и песками, безнапорный, уровень воды в нем находится на глубине нескольких десятков метров. В этих местах водоносный горизонт имеет большую мощность, достигающую сотен метров, и очень большую водообильность. Удельные дебиты скважин достигают здесь сотен кубических метров в час, как, например, в Ферганской и Чуйской долинах. Воды пресные с сухим остатком менее 1000 мг/л, однако по мере движения от гор минерализация воды постепенно увеличивается.

По мере продвижения к периферии поток подземной воды встречает на своем пути водоупорные породы в виде прослоев и линз, создающих подпор.

Зона дренирования характеризуется неглубоким положением уровня подземных вод и частыми выходами их на поверхность, дающими начало мелким поверхностным водотокам.

Водоносные горизонты дренируются вследствие значительного уклона поверхности земли на данном участке при небольшом уклоне зеркала подземных вод в этой зоне. Явлению дренирования благоприятствует также сокращение площади живого сечения потока подземной воды вследствие увеличения содержания водоупорных образований в водоносной толще. Водоносные породы в нижнем горизонте этой зоны — обычно песок и гравий, в верхнем — супеси и суглинки. Глубина залегания подземных вод здесь невелика и не превышает нескольких метров. Водообильность водоносных горизонтов меньше, чем в зоне инфильтрации, но еще достаточно высокая, обеспечивающая удельные дебиты водозаборных скважин, достигающие нескольких десятков м$^3$/ч. Сухой остаток воды часто превышает 1000 мг/л.

Основной гидрогеологический процесс в третьей зоне — расслаивание горизонтов подземных вод. Водоносной породой в верхних слоях преимущественно служит лессовидный суглинок, реже — песок, но на разной глубине от поверхности земли встречаются толщи и линзы водоносных песков, гравия и галечников. Воды их имеют большой напор, часто при вскрытии этих вод скважинами они изливаются на поверхность земли. Водообильность скважин изменяется в больших пределах, нередко отмечается возможность получения из одной скважины пресной воды в количестве, достаточном для водоснабжения среднего, а иногда даже крупного объекта. Но в большинстве случаев скважины дают здесь мало воды, которая преимущественно имеет повышенную минерализацию — несколько г/л. При этом воды более глубоко залегающих горизонтов содержат меньше солей, чем воды вышележащих водоносных горизонтов.

Отличительной особенностью горизонтов подземных вод пролювиальных равнин (конусов выноса) является моноклинальная форма залегания и ограниченное их распространение, а также увеличение степени минерализации по мере удаления от гор. Наиболее водообильные участки обычно приурочены к осевым частям конусов выноса.

## § 3. ЛИНЗЫ ПРЕСНЫХ ВОД ПУСТЫНЬ

Последние полтора десятилетия большое внимание обращено на выявление и изучение линз пресных вод в пустынях. В настоящее время эти линзы широко используются для сельскохозяйственного водоснабжения в пустынных местностях Среднеазиатских республик.

По размеру линзы очень различны. Встречаются линзы, площадь распространения которых составляет всего доли или несколько км$^2$, но обнаружены линзы, занимающие площадь сотни и даже тысячи км$^2$. Так, например, площадь Ясханской линзы в Каракумах, в контуре минерализации воды 1 г/л, составляет порядка 2000 км$^2$.

Пресные воды в описываемых линзах залегают на минерализованных водах, содержание солей в которых обычно равно 40—50 г/л. Мощность пресных вод равна от нескольких до десятков метров. Наибольшая вскрытая мощность Ясханской линзы равна 70—80 м.

Происхождение пресных линз различно.

1. Линзы, формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков (подтакырные линзы). Эти линзы обычно имеют небольшую мощность и ограниченную площадь распространения. Получить из них воду скважиной большей частью нецелесообразно. Лучше соорудить колодец или водозахватную галерею.

2. Линзы, образующиеся вдоль рек и других водоемов за счет фильтрации из них воды (подрусловые линзы).

3. Линзы, происхождение которых обусловлено внедрением пресных подземных вод, идущих из гор, в минерализованные воды предгорных равнин, а также разгрузкой глубоких пресных вод по тектоническим трещинам.

4. Линзы, образовавшиеся в песках за счет инфильтрации атмосферных осадков и конденсации паров воды из воздуха.

5. Линзы реликтового и неизвестного происхождения.

Проектирование одиночных разведочно-эксплуатационных скважин на воды пресных линз очень сложное. В каждом отдельном случае должен быть учтен опыт бурения и эксплуатации уже пробуренных скважин в пределах этой линзы, так как каждая линза имеет свои особенности, определяющие условия забора из нее воды.

Основным условием, определяющим место бурения, конструкцию скважины и режим ее работы, является недопущение подсасывания ею подстилающих и контактирующих сбоку минерализованных вод. Для этого часто рекомендуется бурить спаренные скважины. Одна предназначена для откачки пресной воды, а другая — минерализованной воды. Необходимо учитывать, что ввод в эксплуатацию новой скважины в пределах данной линзы пресной воды может отразиться на условия работы уже существующих здесь водозаборных скважин. Поэтому проектные решения по новой скважине должны быть увязаны с интересами работы существующих скважин.

Необходимые дополнительные сведения для проектирования использования пресных вод описываемых линз можно получить из соответствующей литературы [12, 81, 101, 131 и др.].

## § 4. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ ОТЛОЖЕНИЙ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ТЕРРАС

Водоносные аллювиальные отложения, слагающие террасы долин рек, состоят преимущественно из средне- и крупнообломочных пород. Аллювий горных рек обычно представлен гравием и галечником, а рек равнинных областей — песком.

В аллювиальных отложениях содержатся большие ресурсы подземных вод. По данным Министерства геологии СССР из всех прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод на долю водоносных горизонтов аллювиальных террас приходится 56—60% [60, 100]. В Таджикской ССР из 112 м³/с выявленных эксплуатационных ресурсов подземных вод около 80 м³/с приходится на долю аллювиально-пролювиальных отложений долин рек Вахша, Пянджа, Сырдарьи и др. [7]. Водоносные горизонты аллювиальных отложений во многих районах СССР составляют один из наиболее надежных источников подземных вод, например районы области распространения верхнепермских пород между Уралом и р. Волгой.

Водозаборные скважины, питающиеся водами аллювиальных пород, часто характеризуются большим водообилием. Поэтому при проектировании разведочно-эксплуатационных скважин в областях, где коренные породы содержат небольшие количества воды, сначала нужно выяснить возможность получения воды из аллювиальных отложений, так как даже при относительно небольших естественных расходах водоносных горизонтов аллювиальных отло-

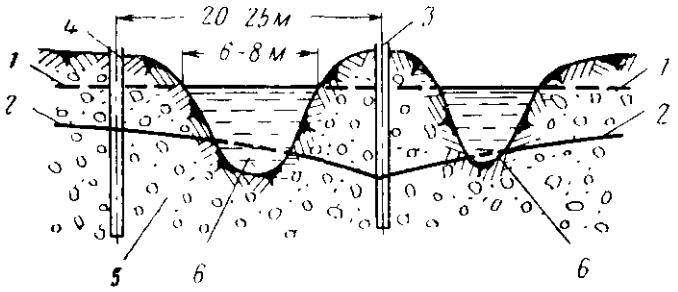



Рис. 15. Схема разобщенности потоков поверхностных и подземных вод (по В. В. Дубровскому):

*1* — непонижеиный уровень подземных вод; *2* — пониженный уровень подземных вод; *3* — опытная скважина; *4* — наблюдательная скважина; *5* — галечниково-гравийные водоносные породы; *6* — потоки горной реки

жений необходимая водообильность скважины может быть обеспечена за счет речных вод, подсасываемых скважиной при близком расположении ее от реки. Однако не всегда такие скважины подсасывают речные воды, даже если аллювиальные отложения представлены крупнообломочным материалом. В некоторых долинах горных районов изоляция водоносного горизонта аллювиальных отложений от речных вод бывает обусловлена кольматацией глинистыми и илистыми частицами ложа реки. Подтверждением сказанного могут быть наблюдения В. В. Дубровского, проведенные им в долине протока р. Ангрен в Средней Азии. Аллювий террасы долины этого притока представлен галечником с примесью гравия и крупнозернистого песка. Скважина, из которой откачивали воду, находилась на острове, но депрессионная воронка уровня подземной воды распространилась и на другой берег реки, что указывает на отсутствие подсоса скважиной речных вод (рис. 15).

Разведочно-эксплуатационные скважины не рекомендуется сооружать в непосредственной близости от подошвы коренных склонов долин, так как здесь мощность аллювиальных отложений может быть невелика.

Если проектируемая скважина должна быть пройдена в пределах пойменной террасы реки, то в проекте нужно указать на необходимость проведения специальных мероприятий по защите устья скважины от затопления во время паводков.

Многочисленными исследованиями установлено, что крупность зерен, а в связи с этим и водопроницаемость аллювиальных пород очень часто увеличиваются к их подошве. Это нужно учитывать при определении глубины и положения водоприемной части скважины.

Достаточно водообильные водоносные горизонты аллювиальных отложений можно встретить не только в долинах современных рек. Мощные водоносные пески, гравий и галечник встречаются также и в древних погребенных долинах, поэтому, если имеются данные о наличии таких долин в районе проектируемого объекта водоснабжения, то разведочно-эксплуатационные скважины целесообразно закладывать в пределах распространения этих долин. Древние погребенные долины в современном рельефе иногда бывают выражены в виде понижений вытянутой формы.

С. В. Троянский [119] указывает на значительную водообильность древнеаллювиальных отложений Центрального Казахстана. По его данным в этом сравнительно безводном районе из указанных

отложений можно получить пресную воду в количестве, достаточном для удовлетворения нужд водоснабжения колхозов, совхозов и других небольших или средних объектов.

Водоносные горизонты аллювиальных отложений питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков, выпадающих на поверхность террас и стекающих со склонов; притока грунтовых вод, идущих с междуречных пространств; дренирующихся напорных вод коренных пород; притока речных вод.

Соотношение перечисленных видов питания различно в зависимости от геологического и геоморфологического строения местности, а также от климатических условий.

Характер и величина питания вод аллювиальных отложений изменяются в зависимости от времени года.

В северных и центральных областях Европейской части Советского Союза аллювиальные водоносные горизонты зимой питаются только грунтовыми водами междуречных пространств и напорными водами водоносных горизонтов коренных пород. Приток воды из рек и инфильтрация атмосферных осадков отсутствуют.

Весной соотношение видов питания аллювиальных вод другое; в это время преобладает инфильтрация атмосферных осадков вследствие таяния снега; отмечается питание речными водами. Летом питания реками почти нет, слабее проявляется и инфильтрация атмосферных осадков. В дождливую осень инфильтрация атмосферных осадков снова усиливается.

Вследствие изменения питания, получаемого из различных источников, химический состав вод аллювиальных отложений непостоянен. В периоды питания атмосферными осадками и реками эти воды обычно опресняются, а в периоды преимущественного поступления вод из глубоких напорных водоносных горизонтов коренных пород минерализация аллювиальных вод часто увеличивается.

В связи с этим при заложении разведочно-эксплуатационных скважин необходимо учитывать характер питания вод аллювиальных отложений.

Предгорья западного склона Урала сложены кунгурскими загипсованными породами и казанскими пестроцветными отложениями. Воды кунгурских пород минерализованы, а воды казанских отложений по степени минерализации относятся больше к пресным. Соответственно воды аллювиальных отложений на участках развития кунгурских пород имеют повышенную минерализацию, а там, где распространены казанские отложения, эти воды более пресные. Значительная минерализация вод аллювиальных отложений (более 1000 мг/л) отмечается в некоторых участках долины Волги, где интенсивно дренируются минерализованные воды каменноугольных отложений (г. Дубна, г. Кимры, Самарская Лука). В месте разгрузки минерализованных вод меловых и третичных пород Сурхан-Дарьинского артезианского бассейна в районе г. Калифа воды даже самой р. Амударьи во время межени заметно изменяют свой химический состав [14].

Связь минерализации вод аллювиальных отложений с минерализацией вод коренных пород наблюдается также и во многих других областях Советского Союза.

При однородном строении коренного ложа долины дренирование вод глубоких водоносных горизонтов коренных пород в русловой части происходит более интенсивно, чем в других частях долины, так как уровень реки в данном месте является базисом дренирования вод этого типа. Поэтому в районах с повышенным увлажнением по мере приближения к реке минерализация вод аллювиальных отложений постепенно возрастает за счет увеличивающегося поступления минерализованных вод из глубоких горизонтов.

Таким образом, более пресную воду в аллювии в этих районах лучше искать ближе к коренным склонам долины. Кроме того, нужно учитывать, что минерализация вод аллювиальных отложений возрастает к их подошве, поэтому глубокие скважины будут давать более минерализованную воду, чем скважины меньшей глубины.

Описанные условия наблюдаются в тех районах, где воды коренных пород имеют повышенную минерализацию. Если же эти воды характеризуются слабой минерализацией, то они не оказывают существенного влияния на засоление аллювиальных вод.

Отмечаются и противоположные случаи, когда в нижней части аллювиальных отложений воды более пресные, чем в верхних горизонтах и открытых водоемах.

Подобное соотношение минерализации аллювиальных вод отмечается в Центральном Казахстане [119]. Вследствие малой увлажненности климата поверхностные воды и воды современных аллювиальных отложений здесь часто засолены, но под этими солоноватыми или солеными водами иногда встречаются пресные воды, приуроченные к древнеаллювиальным крупно- и среднезернистым пескам.

При проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин на воды аллювиальных отложений, кроме разнообразных природных факторов, необходимо также учитывать дальнейшее использование реки для различных целей. Так, в долинах рек часто создаются водохранилища, которые сильно влияют на обводненность аллювиального водоносного горизонта и на состав воды в нем.

## § 5. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД

Подземные воды скальных трещиноватых пород во многих областях имеют большое значение для водоснабжения.

При проектировании разведочно-эксплуатационных скважин на водоносные горизонты этих пород одним из сложных вопросов является выбор участка для заложения скважины. Водообильность скважин в этих районах в основном зависит от степени и характера трещиноватости пород.

Трещиноватость пород является следствием проявления многообразного комплекса геологических процессов, поэтому характер и степень развития открытых трещин в породах весьма различны.

Большое количество открытых трещин отмечается в известняках и доломитах, которые часто характеризуются значительной обводненностью. В них развита региональная трещиноватость, возникающая во время уплотнения и усыхания морского осадка при переходе его в горную породу, а также трещиноватость, обусловленная тектоническими явлениями и процессами выветривания пород.

В известняках и доломитах трещины расширяются в основном под влиянием растворения их подземными водами. Наибольшая открытая трещиноватость в них отмечается в верхних слоях земной коры и в направлениях облегченного движения подземных вод. При интенсивном проявлении процессов растворения указанных карбонатных пород подземными водами в этих породах образуются карстовые пустоты, каверны, каналы, полости и пещеры.

Интенсивная открытая трещиноватость пород наблюдается в зонах, прилегающих к долинам рек, и в самих долинах. На этих участках происходит усиленная циркуляция подземных вод вследствие дренирующего влияния рек. Кроме того, здесь уменьшается мощность покровных пород, что облегчает условия местного питания этих вод. Указанные места благоприятны для заложения разведочно-эксплуатационных скважин.

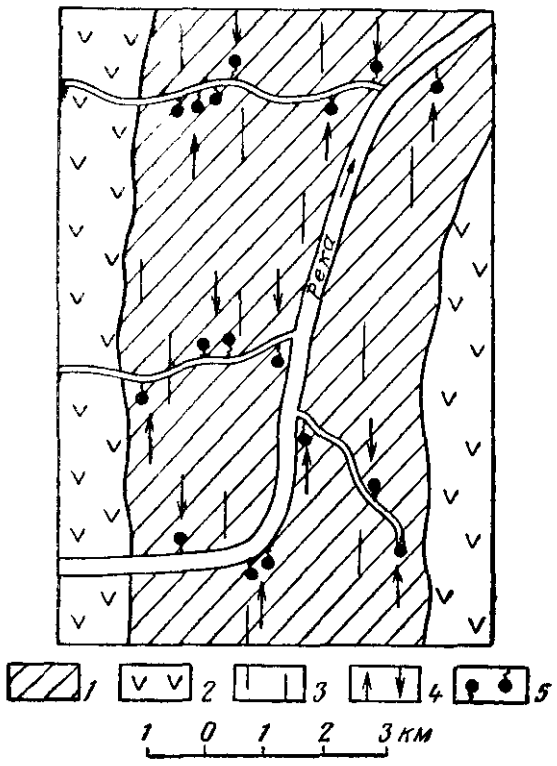



**Рис. 16. Характер водоносности нижнекаменноугольных известняков, смятых в крутые складки меридионального простирания в одном из районов восточного склона Урала:**

*1* — нижнекаменноугольные известняки; *2* — верхнедевонские зеленокаменные породы; *3* — направление простирания пород; *4* — основное направление движения подземных вод; *5* — источники

В пластах карбонатных пород, имеющих крутое или вертикальное залегание, расширяются преимущественно трещины, идущие параллельно простиранию пород. Процесс раскрытия трещин, направленных вкрест простирания пород, идет очень медленно, так как движение подземных вод в этом направлении затруднено водоупорными, труднорастворимыми пластами мергелей, глин и других водоупорных пород, которые часто отмечаются в толщах известняков и доломитов.

В массивах таких пород подземные воды движутся в основном по трещинам, направленным параллельно простиранию пластов. В местах пересечения этих трещин долинами рек и оврагами возникают источники. В одном из районов восточного склона Северного Урала нижнекаменноугольные известняки смяты в

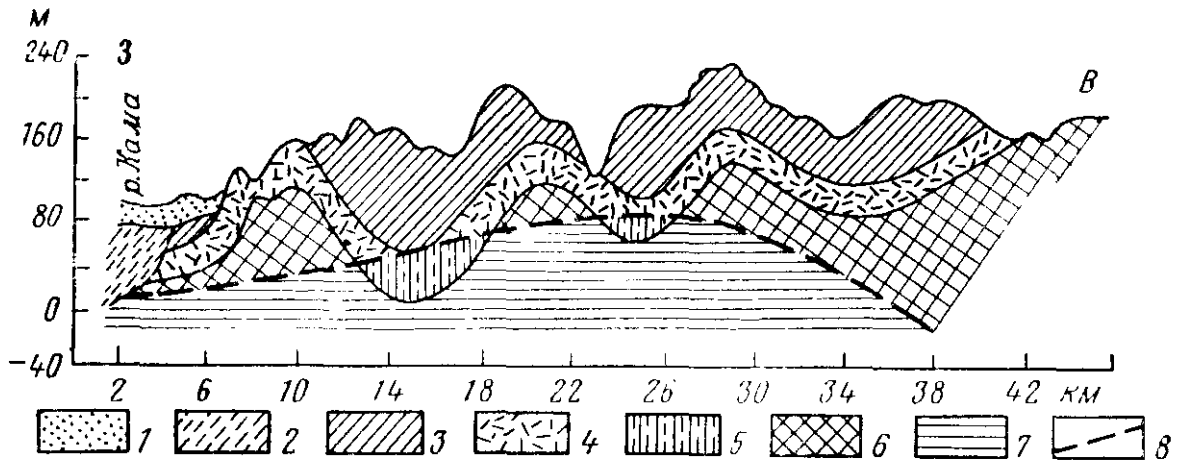



Рис. 17. Характер водопроницаемости надсолевых пород на западном склоне Урала:

*1* — проницаемые современные аллювиальные пески; *2* — слабопроницаемые третичные пески, супеси и суглинки, заполняющие древний глубокий промыв р. Камы; *3* — слабопроницаемые песчаники, аргиллиты, глины и известняки казанского яруса; *4* — хорошо проницаемые известняки кунгурского яруса; *5* — слабопроницаемые известняки кунгурского яруса; *6* — слабопроницаемые глины и мергели кунгурского яруса; *7* — весьма слабопроницаемые глины и мергели кунгурского яруса; *8* — верхняя граница распространения гипса и загипсованных пород, соответствующая нижней границе древней зоны повышенной циркуляции подземных вод

крутые складки меридионального простирания. То же направление имеют водоносные открытые трещины (рис. 16), поэтому на склонах долин рек, текущих в широтном направлении, встречается большое количество источников, а в долинах рек меридионального направления источники отсутствуют. Таким образом, наиболее перспективны для бурения разведочно-эксплуатационных скважин участки, прилегающие к долинам, идущим вкрест простирания пород. Если на данном участке надо заложить не одну, а несколько скважин, то их также следует расположить вкрест простирания пород.

Когда водоносные слои пород небольшой мощности, залегают круто или вертикально, то, как отмечает М. А. Хордикайнен [125], целесообразно бурить не вертикальные, а наклонные скважины с тем, чтобы пересечь большее количество обводненных слоев. По его данным в Джезказганском промышленном районе на участках, где вертикальные скважины оказывались практически безводными, удельные дебиты наклонных скважин составляют 10—12 м³/ч. Подъем воды из таких скважин может быть осуществлен воздушными насосами — эрлифт.

Если карбонатные породы залегают в виде пологих складок, то наиболее водообильные участки часто приурочены к сводовым частям антиклинальных поднятий. Это может быть иллюстрировано следующим примером. Кунгурские известняки на западном склоне Северного Урала образуют пологие складки меридионального простирания (рис. 17). Подземные воды движутся здесь с востока на запад к р. Каме — основной дрене подземных вод района. В третичное время уровень воды в р. Каме был на 70—80 м ниже современного. В настоящее время древняя долина этой реки заполнена третичными и четвертичными отложениями.

Зона усиленной циркуляции подземных вод, соответствующая уровню древней реки, захватывала на антиклинальных поднятиях более древние слои пород, чем в синклинальных погружениях. В пределах этой зоны породы интенсивно промывались подземными водами, поэтому на антиклинальных поднятиях кунгурские известняки имеют более развитую открытую трещиноватость и в связи с этим обеспечивают большую водообильность водозаборных скважин. Здесь удельные дебиты скважин достигают 80—100 м³/ч, тогда как в синклинальных понижениях удельные дебиты скважин не превышают 1—2 м³/ч.

Наибольшая водообильность карбонатных пород отмечается в местах, где наряду с открытой трещиноватостью имеются карстовые пустоты. Некоторые скважины, питающиеся водами закарстованных известняков и доломитов, имеют удельные дебиты более 100 м³/ч, а общий расход из одной скважины достигает 1000—1200 м³/ч (например, некоторые водозаборные скважины, вскрывшие гжельский водоносный горизонт верхнего карбона в восточной части Московской области).

Часто карстовые воды образуются вследствие поглощения речных вод. Как указывает Д. С. Соколов [111], поток этих вод в основном приурочен к закарстованной зоне, спрямляющей излучину реки, тогда как в непосредственной близости от реки залегают слабоводопроницаемые породы (рис. 18).

В песчаниках открытая трещиноватость вследствие отсутствия трещин растворения развита значительно слабее, чем в известняках. Водозаборные скважины, питающиеся водами из песчаников, обычно имеют небольшую водообильность. Поэтому, если в районе, где намечается бурение разведочно-эксплуатационной скважины, залегают песчаники и известняки, то при прочих равных условиях бурить скважину следует на участке, сложенном известняками.

Развитая сеть открытых трещин встречается в молодых остывших лавах, излившихся на поверхности земли в четвертичное время. Открытые трещины в них образуются вследствие сильного уменьшения объема при быстром остывании. Лавовые покровы заполняют пониженные участки рельефа земной поверхности. Если покровы подстилаются водоупорными коренными породами, то в их подошве отмечаются мощные потоки пресных грунтовых вод, образующие в долинах мощные источники. Такие источники широко развиты в Армении и Грузии, где их используют для водоснабжения. Если в лавовых покровах водоносная зона имеет достаточную мощность, то, пробурив разведочно-эксплуатационную скважину, из нее можно получить значительное количество воды.

В магматических глубинных и метаморфических породах отмечаются региональная и локальная трещиноватости. Региональные трещины открываются в основном под влиянием физического выветривания этих пород. Суточные колебания температуры в среднем распространяются в породы на глубину до 3 м, годовые колебания — на 20—30 м, поэтому наибольшая трещиноватость пород отмечается

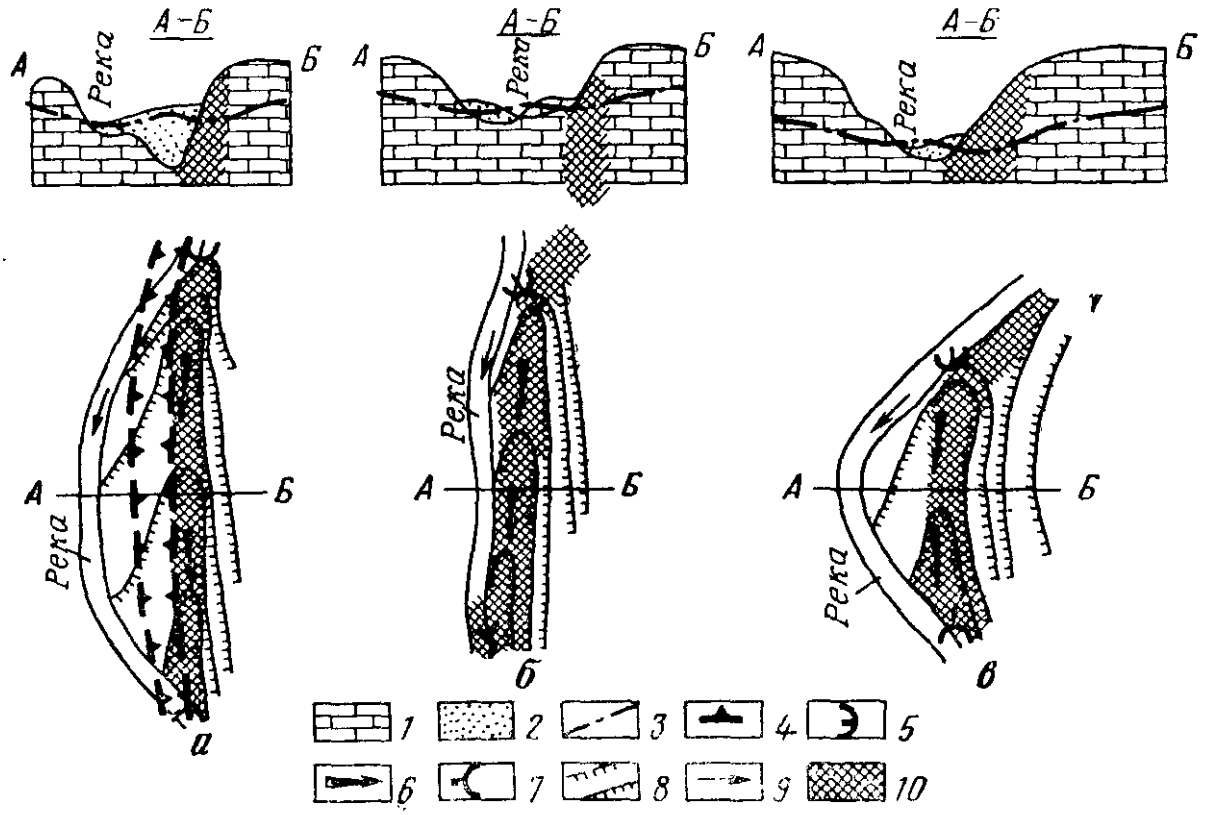



Рис. 18. Главнейшие типы локальных, устойчивых во времени продольных депрессий уровней подземных вод вблизи крупных рек карстовых областей (по Д. С. Соколову):

*а* — депрессия, связанная с закарстованной зоной в борту древнего переуглубления; *б* — депрессия, связанная с закарстованной зоной интенсивной тектонической трещиноватости; *в* — депрессия на повороте реки

*1* — растворимые породы; *2* — речные и другие относительно слабопроницаемые отложения в долине; *3* — уровень подземных вод; *4* — местоположение древнего переуглубления; *5* — участок поглощения речных вод; *6* — направление движения подземного потока в пределах депрессии; *7* — место разгрузки подземного потока в реку; *8* — гидроизогипсы в районе депрессии; *9* — направление течения реки; *10* — местоположение интенсивно закарстованных пород

в самых верхних слоях земной коры (рис. 19). Этот график составлен по данным бурения разведочных скважин в одном из районов Урала, где развиты преимущественно магматические и метаморфические породы.

Из кристаллических магматических пород наиболее интенсивной открытой трещиноватостью и наибольшей водообильностью характеризуются граниты и гранито-гнейсы, воды которых нередко используются для водоснабжения в пределах Украинского кристаллического массива. По материалам Б. Л. Личкова, дебиты отдельных водозаборных скважин достигают 50—60 м³/ч. Наибольшая водообильность гранитов и гранито-гнейсов отмечается на глубине порядка до 30—60 м; в более глубоких горизонтах водоносные трещины можно встретить только случайно.

По данным Ф. А. Руденко [106], открытая трещиноватость кристаллических пород Украинского массива и степень их обводненности зависят от ряда факторов. Он считает, что при прочих равных условиях трещиноватость древних кристаллических пород интенсивнее по сравнению с трещиноватостью более молодых кристаллических

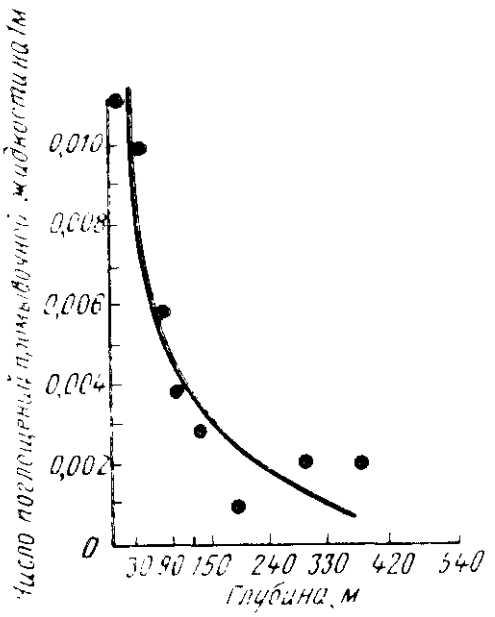



Рис. 19. Зависимость поглощения промывочной жидкости по данным разведочных скважин (по Н. И. Крагеру и В. С. Федотову)

пород; чем мелкозернистее порода, тем больше отмечается в ней трещин. Количество трещин увеличивается и водообильность скважин повышается в зонах тектонических нарушений, а также на участках, приуроченных к долинам рек. В кристаллических породах, покрытых мезозойскими отложениями, трещиноватость и обводненность меньше, чем в породах, залегающих под молодыми третичными и четвертичными осадками.

В районах залегания гранитов и гранито-гнейсов в верхнем слое пород вследствие их разрушения образуется дресва. Согласно данным Ф. А. Руденко, мощность коры выветривания очень непостоянна, она изменяется от 2—3 до 100 м, но в основном равна 12—18 м. В пониженных участках рельефа поверхности земли слой дресвы местами имеет значительную мощность и насыщен водой, которую можно получить при помощи водозаборных скважин. На Украине многие скважины питаются такими водами.

Обычно небольшой водообильностью характеризуются метаморфические сланцы и древние эффузивные породы. На основе большого материала Н. И. Плотников [99] указывает, что трещиноватость в них развита очень неравномерно и распространена на небольшую глубину, поэтому в них встречаются отдельные изолированные обводненные участки, обладающие ограниченными ресурсами подземных вод.

Д. И. Щеголев и Н. И. Толстихин, исследовавшие водоносность кристаллических пород в Восточном Казахстане и в Забайкалье, указывают, что на развитие трещиноватости и на характер водоносности кристаллических пород значительное влияние оказывают современные физико-географические условия, в частности экспозиция и крутизна склонов. На южных и на более крутых склонах трещины развиваются интенсивнее и распространяются на большую глубину.

Кроме трещин регионального распространения, в кристаллических породах встречаются трещины, связанные с узкими, но глубокими зонами тектонических разломов. Породы, залегающие в этих зонах, часто имеют большую водопроницаемость, чем окружающие их породы. Водозаборные скважины, пройденные в породах подобной зоны, обычно характеризуются значительной водообильностью. Так, в пределах развития скальных пород Урала повышенная открытая трещиноватость и в связи с этим большая обводненность указанных пород отмечаются в зонах проявления молодых глыбовых дислокаций мезозойского и палеогенового возраста [28].

Иногда тектонические зоны представлены истертыми горными породами, имеющими слабую водопроницаемость, как это часто наблюдается при образовании надвигов и взбросов. Такие зоны затрудняют движение подземных вод, они служат водоупорными барьерами, разделяющими водоносный массив трещиноватых пород, поэтому бурить разведочно-эксплуатационные скважины в пределах распространения этих зон не следует.

Повышенная водообильность скважин иногда отмечается при пересечении ими контактов различных кристаллических пород, как это установлено на восточном склоне Урала [27]. Часто до глубины 100—150 м скважины проходят монолитные, практически безводные кристаллические породы, после чего встречают обводненный контакт двух пород с напорными водами.

Вследствие различного характера и степени развития открытых трещин в кристаллических породах условия получения из них подземных вод очень сложны. Часто водозаборные скважины, расположенные на небольшом расстоянии одна от другой, имеют различную водообильность: одна скважина встречает безнапорную воду и имеет большую водообильность, другая — обнаруживает напорную воду на большей глубине и характеризуется небольшим удельным дебитом, а третья — оказывается практически безводной (рис. 20).

Примером могут служить три скважины, пробуренные на одном участке водозабора на Урале на расстоянии 100 м одна от другой.

По данным В. В. Дубровского, все три скважины бурились ударно-канатным способом, имели одинаковые глубину и конструкцию и вскрывали одни и те же нижнесилурийские кварциты. Но в первой скважине не было обнаружено признаков водоносности, вторая скважина имела удельный дебит 1,5 м³/ч, а третья скважина, вскрывшая зону дробления, с удельным дебитом 15 м³/ч обеспечила потребности объекта.

Независимо от состава пород при выборе места бурения разведочно-эксплуатационных скважин следует обращать внимание на участки, в которых имеются естественные выходы подземных вод — источники, собирающие подземные воды с окружающих, иногда больших площадей. Вследствие усиленного движения подземных вод трещины в породах оказываются здесь более открытыми, чем в других частях района. На этих участках водозаборные скважины

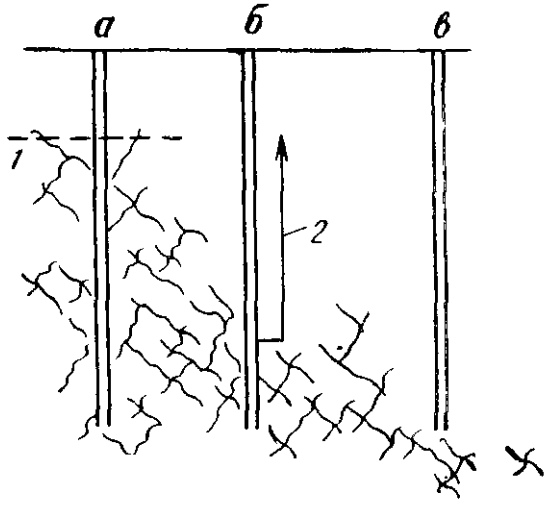



Рис. 20. Случай различной водоносности скважин, пройденных при разведке на воду в трещиноватых породах:

*а* — скважина, вскрывшая безнапорную воду; *б* — скважина, вскрывшая напорную воду; *в* — скважина практически безводная

*1* — статический уровень воды; *2* — пьезометрический уровень воды

обычно дают больше воды, чем источники, поскольку в скважине можно создать понижение уровня.

Химический состав грунтовых вод трещиноватых пород подчиняется климатической зональности так же, как и воды рыхлых отложений, слагающих междуречные пространства. В некоторых районах, где встречаются хорошо растворимые гипсы и хлоридные соли, в трещиноватых скальных породах образуются азональные минерализованные грунтовые воды (например, в Пермской области и в других районах западного предгорного прогиба Урала).

## § 6. АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ

Артезианские водоносные горизонты, используемые для водоснабжения, обычно приурочены к карбонатным породам (известнякам, доломитам, мергелям, меловым породам) и пескам, реже к песчаникам и опокам.

В природных условиях часто встречается не один, а несколько артезианских водоносных горизонтов, залегающих один над другим и разделенных толщами водоупорных пород. Система таких водоносных горизонтов, выдержанная на значительной площади территории, называется артезианским бассейном; такими бассейнами являются Днепровско-Донецкий, Московский, Ленинградский, Карагандинский и др.

В зависимости от геоморфологических и геологических условий можно выделить артезианские бассейны трех видов.

1. Артезианские бассейны синклинальных структур горных сооружений, вытянутые по простиранию пород и имеющие сравнительно небольшие размеры. Длина таких бассейнов обычно не превышает нескольких десятков километров. Водоносные горизонты характеризуются в основном облегченными условиями питания и дренирования.

2. Артезианские бассейны предгорных равнин, часто занимающие большие территории. Водоносные и водоупорные слои залегают здесь моноклинально с падением в сторону предгорной равнины. Области питания и дренирования водоносных горизонтов выделяются в этих бассейнах четко; первые приурочены к горным сооружениям, вторые — к долинам рек предгорной равнины.

3. Артезианские бассейны платформ, занимающие большие площади (десятки тысяч квадратных километров). Водовмещающие породы могут залегать почти горизонтально, образовывать котловины с пологими бортами или пологие склоны. Артезианские водоносные горизонты в основном питаются на междуречных пространствах и дренируются в долинах рек.

Теория движения воды в артезианских бассейнах была разработана А. Н. Мятиевым. Согласно этой теории, области питания артезианских горизонтов приурочены к положительным формам рельефа, а районы дренирования к долинам рек основной гидрографической сети, к озерным впадинам и морским побережьям незави-

симо от наличия в кровле горизонта глинистых пород. Последние затрудняют, но не устраняют питание и дренирование артезианских горизонтов, как считалось ранее, когда области питания и районы дренирования ограничивались только площадями, в которых породы данного горизонта выходили на поверхность земли. В областях питания наряду с горизонтальным движением артезианских вод по водоносному горизонту происходит нисходящая фильтрация их, поэтому пьезометрические уровни воды в глубоких водоносных горизонтах устанавливаются здесь ниже, чем в вышележащих водоносных горизонтах. В районах дренирования, где артезианские воды имеют восходящее движение, в нижних водоносных горизонтах пьезометрические уровни находятся выше пьезометрических уровней водоносных горизонтов, залегающих ближе к поверхности земли (рис. 21). Если в артезианском бассейне имеется несколько водоносных горизонтов, то при прочих равных условиях более интенсивным водообменом характеризуется артезианский горизонт, залегающий ближе к поверхности земли.

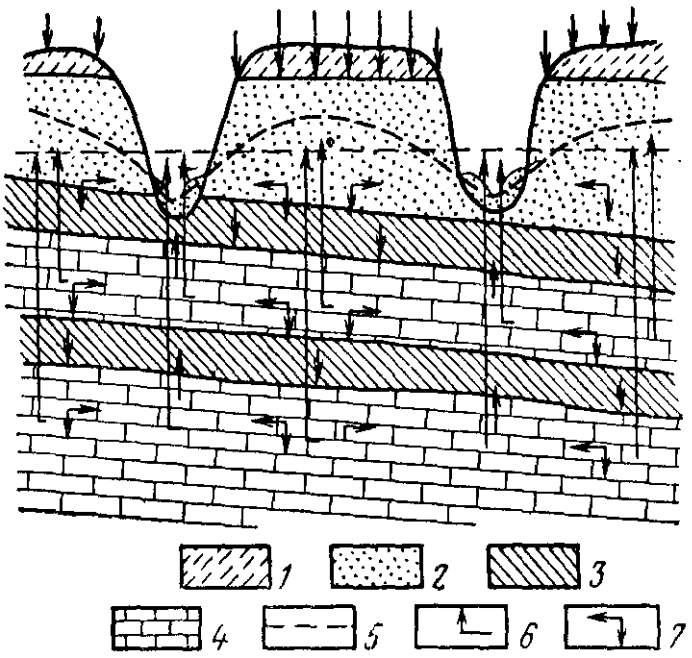



Рис. 21. Общая схема питания движения и дренирования артезианских вод бассейнов платформенного типа:

*1* — суглинки; *2* — пески; *3* — глины; *4* — водоносные известняки; *5* — уровень грунтовых вод; *6* — пьезометрический уровень артезианских вод; *7* — направление движения подземных вод

Теория питания, движения и дренирования артезианских вод, предложенная А. Н. Мятиевым, подтверждена региональными гидрогеологическими исследованиями, проведенными в пределах Русской платформы [46], Московском артезианском бассейне [20, 21], артезианских бассейнах Северного Кавказа [132], Казахстана [10], юга Западно-Сибирской низменности [44], Приаралья [130] и др.

Если в данном районе имеется несколько артезианских водоносных горизонтов, мало отличающихся по составу пород, то, исходя из указанной теории и последующих региональных гидрогеологических исследований, наиболее целесообразно использовать артезианский горизонт, залегающий ближе к поверхности земли.

При выборе места бурения разведочно-эксплуатационной скважины нужно учитывать, что большую водообильность следует ожидать при заложении скважины на участке, где уменьшается мощность пород, покрывающих водоносный горизонт, и в составе этих пород больше водопроницаемых разностей. Наибольшая водообильность отмечается в местах выклинивания пород водоупорной кровли. Очень большую водообильность имеет скважина, когда на трещиноватых

известняках и доломитах, водами которых она питается, непосредственно залегают обводненные пески.

Относительное увеличение водообильности скважин во многих артезианских бассейнах наблюдается в долинах рек и других понижениях современного рельефа. Здесь вследствие уменьшения мощности покрывающих пород облегчается местное питание водоносного горизонта. Кроме того, в долинах рек и в указанных понижениях рельефа часто происходит разгрузка глубоких минерализованных вод, которые, попадая в верхний водоносный горизонт, смешиваются с пресными водами этого горизонта, обусловливая повышенную и неустойчивую их минерализацию. Последнее увеличивает агрессивность вод и благоприятствует развитию открытых трещин в известняках и доломитах.

Если слои, перекрывающие породы водоносного горизонта, залегают на них трансгрессивно, то водообильность скважин может зависеть от древнего погребенного рельефа кровли горизонта. Во многих районах наиболее водообильными оказываются скважины, заложенные на тех участках, где древний погребенный рельеф кровли водоносных пород сильнее расчленен; примером может служить упинский водоносный горизонт нижнего карбона в Подмосковном угольном бассейне.

При выборе артезианского водоносного горизонта для питания разведочно-эксплуатационной скважины при прочих равных условиях следует отдавать предпочтение водоносным горизонтам, приуроченным к трещиноватым карбонатным породам, а не к пескам. Для получения воды из песков необходимо установить фильтр, который создает дополнительные сопротивления движению воды в приемной части скважины.

Кроме того, при эксплуатации скважин фильтры зарастают выпадающими из воды химическими осадками или забиваются мелкими частицами песка, вследствие чего постепенно уменьшается водообильность скважин. Трещиноватые же скальные породы обычно обеспечивают более устойчивую водообильность скважин в процессе их эксплуатации.

В артезианских бассейнах, сложенных скальными водоносными породами, зоны проявления интенсивной тектонической трещиноватости благоприятны для получения большого количества воды.

При выборе артезианского водоносного горизонта для питания разведочно-эксплуатационной скважины и места ее заложения нужно учитывать условия формирования химического состава артезианских вод.

Минерализация артезианских вод, как правило, увеличивается с глубиной. В верхних водоносных горизонтах, находящихся в зоне усиленной циркуляции, воды обычно пресные, гидрокарбонатные, переходящие ниже в сульфатно-гидрокарбонатные и сульфатные. Воды зоны замедленной циркуляции имеют повышенную минерализацию и сульфатно-хлоридный или хлоридно-сульфатный состав. В наиболее же глубоких водоносных горизонтах, в зоне весьма

замедленной циркуляции, отмечаются хлоридные воды, имеющие концентрацию рассолов.

В раскрытых проточных и промытых геологических структурах, как, например, в Московском артезианском бассейне, граница между пресными и гидрокарбонатно-сульфатными и минерализованными сульфатно-хлоридными водами находится на глубине 150—400 м, а граница между минерализованными сульфатно-хлоридными и хлоридными рассолами — на глубине 600—700 м от поверхности земли [24]. В закрытых непроточных и непромытых геологических структурах (в Заволжье и в Приуральском прогибе) эти границы располагаются ближе к поверхности земли — соответственно на глубине 50—100 и 100—300 м [9].

В зависимости от нахождения данного участка в области питания или в районах дренирования влияние вертикального движения артезианских вод на их минерализацию различно.

Вследствие того, что концентрация солей в подземных водах обычно возрастает с глубиной, в районах дренирования минерализация воды в артезианском горизонте увеличивается по сравнению с областями его питания за счет притока минерализованных вод из нижних водоносных горизонтов. Но, независимо от сказанного, если в пределах участка, приуроченного к области питания подземных вод, грунтовые воды на значительной площади имеют повышенную минерализацию или в этом районе не глубоко залегают легко растворимые породы, например каменная соль, гипс и другие, то в артезианских водах, как правило, тоже отмечается повышенная минерализация.

В одном и том же районе из водоносного горизонта артезианского бассейна платформенного типа можно получить воды различной степени минерализации. В областях, где климат характеризуется повышенной увлажненностью, пресную артезианскую воду более вероятно встретить на междуречных возвышенных частях современного рельефа, чем в пониженных частях долин рек или других впадин поверхности земли, где происходит дренирование подземных вод. Это имеет большое значение, когда артезианские воды по степени минерализации находятся на пределе возможности использования их для водоснабжения.

В Березниковско-Соликамском районе на западном склоне Северного Урала воды горизонта известняков плитняковой толщи кунгурского яруса, используемые для водоснабжения, на междуречных пространствах имеют сухой остаток 250—350 мг/л и общую жесткость 3—4,5 мг-экв/л; в долине Камы вес сухого остатка увеличивается до 1000—1200 мг/л, а общая жесткость до 14 мг-экв/л.

В Подмосковном угольном бассейне в долинах рек минерализация воды водоносного горизонта упинских известняков нижнего карбона тоже сильно повышается. Если на возвышенных междуречных пространствах сухой остаток в подземных водах составляет 400—600 мг/л и общая жесткость 5,7—6,5 мг-экв/л, то скважины, находящиеся на пойменных террасах долин рек, из этого горизонта

дают воду с сухим остатком до 1600 мг/л при общей жесткости до 23 мг-экв/л. Подобные явления отмечаются и во многих других районах, где используются артезианские воды.

Однако когда минерализация воды в местах дренирования увеличивается незначительно и не выходит за пределы, исключающие возможность использования ее для водоснабжения, при выборе участка для заложения разведочно-эксплуатационной скважины можно не считаться с описанным явлением и размещать скважины в пониженных частях долин рек и других впадин рельефа поверхности земли.

В пределах Днепровско-Донецкого артезианского бассейна и в большинстве районов Московского артезианского бассейна минерализованные подземные воды залегают сравнительно глубоко и изолированы от пресных вод достаточно мощными толщами водоупорных пород. В этих бассейнах относительное увеличение минерализации вод водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения, в местах их дренирования обычно не превышает 100—200 мг/л, что практически значения не имеет.

В районах дренирования вследствие восходящего движения подземных вод артезианские воды, пришедшие из области питания, могут не засолоняться минерализованными водами вышележащего засоленного или загипсованного слоя пород.

Это наблюдается в некоторых районах юго-восточного побережья Балтийского моря, где пресные воды верхнедевонских известняков и доломитов встречаются на глубине 60—70 м под минерализованными сульфатными водами, имеющими сухой остаток 2000—3000 мг/л. В Северной Мугани, где напоры подземных вод увеличиваются с глубиной, тоже наблюдается уменьшение минерализации воды в более глубоких водоносных горизонтах [3].

В предгорных равнинных районах Северного Кавказа и юго-восточной части СССР областями питания артезианских вод являются примыкающие к этим районам горы, а зоной дренирования — территории равнин. Пресные артезианские воды, движущиеся в пределах равнин из областей питания, могут не засолоняться минерализованными грунтовыми водами континентального засоления, так как последние не проникают в артезианские водоносные горизонты. Таким образом, под минерализованными грунтовыми водами можно встретить пресные артезианские.

Такие относительно пресные воды с плотным остатком 400—1700 мг/л были встречены в Кулундинской аллювиальной равнине на глубинах от 430 до 1072 м в верхнемеловых песках под более минерализованными водами палеогеновых и неогеновых отложений [17]. Согласно исследованиям Н. В. Гармонова и других [44], питание верхнемелового артезианского горизонта происходит в пределах Приобского плато, а Кулундинская равнина является местом разгрузки этого горизонта. Пьезометрические уровни воды в верхнемеловом горизонте на территории указанной равнины находятся выше пьезометрических уровней воды в палеогеновом и неогеновом

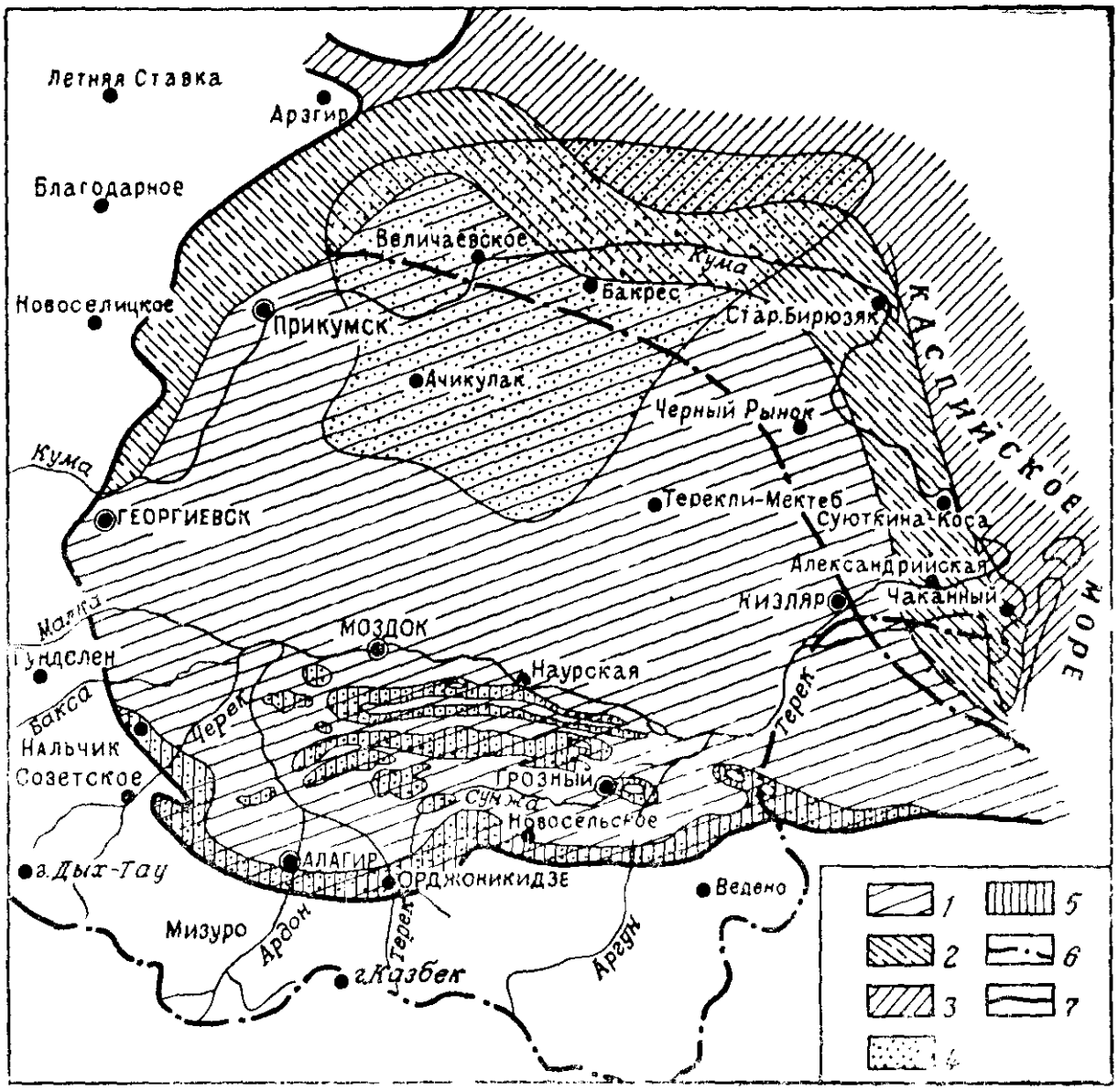



Рис. 22. Карта прогноза минерализации вод апшеронских отложений в восточной части Северного Кавказа (по С. А. Шагоянцу):

*1* — площадь распространения слабоминерализованных вод с сухим остатком до 1 г/л (верхняя часть толщи апшерона); *2* — площадь распространения вод повышенной минерализации с сухим остатком от 1 до 3 г/л (верхняя часть апшерона); *3* — площадь распространения вод высокой минерализации с сухим остатком более 3 г/л; *4* — площади с изученной водоносностью (вне этих площадей водоносность указана предположительно); *5* — участок выходов на поверхность отложений верхнего плиоцена (вне выходов на поверхность отложений апшерона последние содержат напорную воду); *6* — предполагаеман северо-восточная граница распространеиия слабоминерализованных вод в нижних горизонтах толщи апшерона; *7* — граница распространения верхнеплиоценовых отложений (апшерон + акчагыл)

водоносных горизонтах, а также, большей частью, выше поверхности земли. Однако необходимо иметь в виду, что и здесь также не исключена возможность засоления воды в артезианском водоносном горизонте вследствие растворения водовмещающих пород и притока в него минерализованных вод из более глубоких слоев. Это следует учитывать при заложении разведочно-эксплуатационных скважин в районах дренирования подземных вод в засушливых областях страны. Чем дальше от области питания находится участок заложения разведочно-эксплуатационной скважины, тем меньше вероятность встретить в глубоких артезианских водоносных горизонтах пресную воду.

Примером постепенного увеличения и изменения характера минерализации артезианской воды при движении ее от областей питания могут служить данные исследований С. А. Шагоянца [132], изучавшего артезианские воды восточной части Северного Кавказа (рис. 22). Эти воды движутся здесь с юго-запада на северо-восток по направлению к Каспийскому морю. Пьезометрический уровень их на большей части указанной территории, особенно в северо-восточной части, находится выше поверхности земли, и скважины дают самоизливающуюся воду. Из рис. 22 видно, что по мере движения вод на северо-восток минерализация их увеличивается. Кроме того, воды гидрокарбонатного состава постепенно переходят в хлоридные.

Отмеченные закономерности формирования артезианских вод позволяют более обоснованно составить проект одиночной разведочно-эксплуатационной скважины. Они показывают, что на водообильность водоносных горизонтов и на химический состав артезианских вод, кроме геологических условий, большое влияние оказывает и геоморфологическое строение местности.

## § 7. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Многолетняя мерзлота отмечается на площади, составляющей около 47% территории Советского Союза. Гидрогеологические условия в районах многолетней мерзлоты изучались многими исследователями [62, 87, 102, 134 и др.].

Условия получения подземных вод в указанных районах очень сложные. Наличие мерзлого слоя, достигающего мощности 500—600 м, накладывает свои особенности на распространение, питание, дренирование и формирование химического состава подземных вод. По данным В. М. Пономарева [102], перспективными участками для заложения разведочно-эксплуатационных скважин на воду являются пойменные участки долин крупных рек, особенно в горных областях. При наличии хорошо водопроницаемых аллювиальных отложений или трещиноватых пород здесь могут встретиться незамерзшие грунтовые воды. Такие воды отмечаются также в тектонических зонах раздробления скальных пород, где имеются условия для повышенной циркуляции. Горные области более благоприятны для получения подземных вод, чем низменные территории.

Как отмечает А. И. Калабин [62], для водоснабжения могут представлять интерес воды предгорных конусов выносов, сложенные хорошо водопроницаемыми крупнообломочными породами.

В районах распространения многолетней мерзлоты воду иногда можно получить из межмерзлотных таликов. На наличие таких вод указывают выходы в зимнее время источников или наледи на поверхности земли.

В последние пятнадцать лет в ряде районов территории развития многолетней мерзлоты под мощной толщей мерзлого слоя были встречены артезианские воды (табл.12). Ресурсы артезианских вод в области развития многолетней мерзлоты изучены пока еще слабо.

*Таблица 12*

**Гидрогеологические структуры территории с мощной толщей многолетнемерзлых пород (по В. М. Пономареву, 1960)**

| Гидрогеологические структуры | Геологический возраст отложений, включающих основные горизонты | Мощность многолетнемерзлых пород, м | Химический состав воды водоносных горизонтов |
|---|---|---|---|
| | | *Артезианские бассейны* | |
| Печорский | Четвертичный, пермский | До 250 | Гидрокарбонатно-кальциево-натриевые, реже хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые; по побережью моря — хлоридно-натриевые, высокоминерализованные |
| Западно-Сибирский | Четвертичный, меловой | До 500 | Гидрокарбонатно-натриевые; по побережью моря — хлоридно-натриевые, высокоминерализованные |
| Хатангский (Енисейско-Хатангский) | То же | 450—500 | Гидрокарбонатно-натриевые, гидрокарбонатно-кальциевые; на побережье моря и в районе соляных месторождений — хлоридно-натриевые, высокоминерализованные |
| Хатангско-Ленский | Четвертичный, меловой, юрский, пермский, каменноугольный, девонский | 500—550 | Хлоридно-натриевые, высокоминерализованные; в южных районах, возможно гидрокарбонатно-кальциевые |
| Якутский Ленско-Вилюйский | Четвертичный, юрский | 100—300 | Гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые, сухой остаток до 1,2 г/л. В районах соляных месторождений — хлоридно-натриевые, высокоминерализованные |
| Нижне-Ленский | Четвертичный, меловой | 300—500 | Предположительно гидрокарбонатно-натриевые |
| Тунгусский | Четвертичный, пермо-карбоновый, силурийский, кембрийский | До 500 | Предположительно гидрокарбонатно-кальциевые; на участках, сложенных соленосными породами, сульфатно-кальциевые и хлоридно-натриевые с повышенной минерализацией |
| | | *Горноскладчатые области* | |
| Урало-Вайгачская | Четвертичный, пермский, каменноугольный, силурийский | До 400 | Гидрокарбонатно-кальциевые, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые, иногда высокоминерализованные |
| Таймырская | Четвертичный, пермский | 500—600 | Предположительно гидрокарбонатно-кальциевые; по побережью моря хлоридно-натриевые, высокоминерализованные |

*Продолжение табл. 12*

| Гидрогеологические структуры | Геологический возраст отложений, включающих основные горизонты | Мощность многолетнемерзлых пород, м | Химический состав воды водоносных горизонтов |
|---|---|---|---|
| Верхоянско-Колымская | Четвертичный, меловой, юрский, триасовый, пермский | До 500 | Гидрокарбонатно-кальциевые, гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые, сульфатно-гидрокарбонатно-натриевые, обычно в зонах тектонических нарушений |
| Яно-Индигирский бассейн | ? | 300—350 | Нет данных |
| Нижне-Колымский бассейн | ? | 300—500 | То же |
| Чукотская | Четвертичный, третичный, меловой, юрский, триасовый | — | Гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-натриевые в районах распространения изверженных пород |
| Корякская | Четвертичный, меловой | — | В районах распространения угленосных отложений — гидрокарбонатно-натриевые; на остальной территории неизвестно |
| Анабарский массив | Четвертичный, докембрийский | До 300—400 | Предположительно гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-натриевые |

Подземные воды в верхних горизонтах преимущественно пресные гидрокарбонатно-кальциевого состава. Но в северных районах, примыкающих к Северному Ледовитому океану, встречаются минерализованные воды, близкие по химическому составу к морской воде [102]. Во многих артезианских горизонтах, залегающих под слоем мерзлых пород, отмечаются сульфатные и хлоридные воды. Местами в долинах рек и в озерных впадинах эти минерализованные воды разгружаются, засоляя при этом воды рек и озер или образуя видимые соленые источники [121].

Успех сооружения разведочно-эксплуатационных скважин на воду в районах многолетней мерзлоты определяется специфическими условиями технологии бурения этих скважин и проведения из них откачек.

Кроме вод, указанных выше, для временного летнего водоснабжения можно использовать воды сезоннопротаивающего слоя, однако их целесообразнее вскрывать не скважинами, а колодцами или водосборными галереями.

Из сказанного видно, что выбор водоносного горизонта и участка для бурения разведочно-эксплуатационной скважины в районах развития многолетней мерзлоты должен быть основан не только на сборе и анализе обычных геологических и гидрогеологических

данных, но также и на проработке материалов о распространении и термическом режиме мерзлого слоя в районе бурения.

Перед составлением проекта скважины необходимо обследовать местность в районе ее заложения. По мнению А. И. Калабина, это обследование целесообразнее приурочивать к периоду после прекращения стока поверхностных вод в ноябре — декабре, когда начинают образовываться наледи, указывающие на наличие под мерзлыми грунтами незамерзших подземных вод. По другим данным указанное обследование дает больше данных о подмерзлотных водах, когда оно проводится в феврале — апреле [101].

*ГЛАВА VI*

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ

Правильность и надлежащая обоснованность проекта конструкции разведочно-эксплуатационной скважины зависит от полноты собранных гидрогеологических материалов, от методически правильного их анализа и обобщения, т. е. от качества предварительного гидрогеологического заключения, которое должно включаться в проект.

Использование соответствующих буровых станков, обсадных труб, бурового инструмента, насосного оборудования, двигателей, лесоматериала планируется на основании проектов скважин и соответственно все необходимое завозится на место работ. Поэтому очевидно, что успешность работы по сооружению разведочно-эксплуатационной скважины в первую очередь зависит от того, насколько геолого-гидрогеологические условия соответствуют предполагавшимся и учтенным в проекте.

Всевозможные обстоятельства, не предусмотренные или упущенные в проекте, могут повлечь за собой немало осложнений в производстве работ и даже привести к тому, что скважина не выполнит своего назначения. Поэтому особо важное значение следует придавать надлежащей обоснованности предварительного гидрогеологического заключения, зависящей в первую очередь от степени изученности района и полноты имеющихся гидрогеологических материалов.

После получения задания на проектирование разведочно-эксплуатационной скважины необходимо прежде всего ознакомиться со всеми опубликованными и фондовыми материалами, освещающими геолого-геоморфологическое строение, а также гидрогеологические условия района намечаемого бурения, и установить степень изученности. В зависимости от степени изученности и сложности района (последняя должна быть установлена одновременно) могут в довольно значительных пределах изменяться границы территории, подлежащей исследованию.

Для относительно хорошо изученных и простых по геологическому строению районов необходимо исследовать и учесть сравнительно небольшие площади; в районах плохо изученных или очень сложных, независимо от степени изученности, иногда бывает необходимо принимать во внимание особенности геологического строения и гидрогеологических условий на весьма значительных терри-

ториях для нахождения наиболее правильного решения в отношении точки заложения и предполагаемого разреза разведочно-эксплуатационной скважины.

Для установления степени изученности района следует использовать материалы геологической изученности СССР, а также всевозможные указатели, каталоги и кадастры, имеющиеся во Всесоюзном геологическом фонде Министерства геологии СССР и в отделах фондов территориальных геологических управлений республиканских Министерств геологии.

Рекомендуемый порядок работы несомненно даст положительные результаты, поскольку в перечисленных источниках учитываются все геолого-гидрогеологические материалы опубликованные и неопубликованные, причем по мере накопления новых материалов они находят свое отражение в последующих дополнительных выпусках. После выявления нужных материалов по указателям необходимо ознакомиться непосредственно с первоисточниками и соответственно их использовать.

Если в результате ознакомления с указателями установлено, что для территории, подлежащей изучению, нет материалов исследований желательной подробности, необходимо ознакомиться с отдельными региональными монографиями — «Геология СССР» и «Гидрогеология СССР», которые освещают всю территорию нашей страны. В этих монографиях, при отсутствии других данных, могут быть получены очень ценные сведения для проектирования разведочно-эксплуатационных скважин, особенно в платформенных областях со сравнительно выдержанной тектоникой. Наряду с перечисленными серийными изданиями, всестороннего геолого-гидрогеологического характера, в последнее время издаются также монографии гидрогеологического содержания, иногда с несколько иной, более узкоспециализированной направленностью.

Тем не менее и эти материалы нередко могут быть с успехом использованы для решения задач водоснабжения. Необходимо также иметь в виду, что в периодических изданиях Министерства геологии СССР, Академии наук СССР, Всесоюзного географического общества, Московского общества испытателей природы, а также в трудах, сборниках и вестниках многих центральных и периферийных научно-исследовательских и учебных институтов нередко встречаются отдельные региональные очерки и статьи, посвященные гидрогеологической характеристике определенных участков и районов, которые могут представлять интерес, а иногда и использоваться для конкретного проектирования.

Для того чтобы постоянно держать в поле зрения всю подобную издающуюся литературу, в том числе и периодическую, гидрогеологу, занимающемуся проектированием разведочно-эксплуатационных скважин на воду, необходимо систематически знакомиться с выпусками «Книжная летопись» и «Летопись журнальных статей».

Эти два периодических издания выпускаются Всесоюзной книжной палатой еженедельно и охватывают всю литературу, издаваемую

в СССР по всем отраслям знания; поэтому при условии регулярного ознакомления с упомянутыми выпусками ни один вопрос, ни одна тема не будут пропущены и при необходимости — приняты во внимание.

Рекомендуется также пользоваться имеющимся картографическим материалом в виде гидрогеологической карты СССР в масштабе 1 : 2 500 000 с пояснительными записками, а также геологическими и гидрогеологическими картами более крупного масштаба.

При составлении гидрогеологических заключений надо также учитывать, по мере возможности, и использовать каталоги существующих скважин на воду. Такие каталоги в настоящее время изданы для подавляющего большинства административных областей нашей страны.

Составляемое гидрогеологическое заключение не должно содержать безотносительных описаний и констатаций, а также подробностей, касающихся общей характеристики природных условий района, если их в дальнейшем нельзя соответствующим образом использовать для раскрытия определенных гидрогеологических условий и если они не имеют прямого отношения к гидрогеологическому обоснованию проекта.

Необходимо особо подчеркнуть, что проектирование разведочно-эксплуатационной скважины на воду может быть успешным, если автор проекта вполне четко представляет себе комплекс природных условий района и основные закономерности их развития, а также достаточно уясняет взаимодействие всех естественных факторов, характерных для данного района. Поэтому изучение комплекса природных условий района представляет собой задачу первостепенной важности, так как только на основе учета всех факторов, обусловливающих гидрогеологические условия и особенности района, могут быть сделаны правильные выводы и обобщения, которые должны быть положены в основу проекта разведочно-эксплуатационной скважины.

При составлении гидрогеологического заключения не следует смешивать степень изученности района бурения, а в отдельных случаях — даже участка заложения скважины со степенью изученности гидрогеологического района или отдельного водоносного горизонта, для которого эксплуатационные запасы подземных вод могут быть утверждены по одной из высоких категорий.

Например, запасы подземных вод отложений карбона Подмосковной артезианской котловины, хорошо изученные в гидрогеологическом отношении, не всегда могут быть приняты по категории $A_2$ для отдельных районов. При достаточных общих запасах подземных вод здесь могут оказаться недостаточно водообильными отдельные скважины, расположенные в зонах менее интенсивной трещиноватости известняков или в зонах различных фациальных изменений горизонта.

Тем не менее, оценивая степень изученности района, в котором намечается бурение разведочно-эксплуатационной скважины, и ана-

лизируя его гидрогеологические особенности, необходимо совершенно отчетливо представлять себе тот геоструктурный регион, в пределах которого находится точка заложения проектируемой скважины.

В процессе составления гидрогеологического обоснования проекта необходимо последовательно переходить от анализа общих данных к частным выводам.

Необоснованными являются гидрогеологические заключения, авторы которых, используя подчас весьма полные материалы, непосредственно вникают в детали литологических и гидрогеологических особенностей разреза и не дают даже схематической общей характеристики природных условий района, на фоне которых частные детали закономерно вырисовывались бы из основных черт геологического строения.

Встречаются и другие крайности, когда обилие материалов общегеологического характера при неумении истолковать их целеустремленно и при недостатке конкретных данных приводит к детализации вопросов, не имеющих прямого отношения к гидрогеологическому обоснованию проекта, в результате чего гидрогеологические выводы и обобщения оказываются необоснованными и неубедительными.

При составлении гидрогеологического заключения к проекту разведочно-эксплуатационной скважины необходимо, в первую очередь, учитывать расположение участка бурения в пределах отдельного конкретного элемента какого-то более крупного геоструктурного региона, с определенно выраженной спецификой, оказывающей решающее влияние на гидрогеологические условия. В качестве примеров таких элементов для Европейской части СССР можно указать на Подмосковную синеклизу, Днепровско-Донецкую впадину, Украинский кристаллический массив, Донецкий бассейн, Прикубанскую депрессию, Ставропольское плато и другие, а также на более мелкие элементы последних, как, например, Окско-Цнинский вал, Рязано-Костромской прогиб на периферии Подмосковной синеклизы и т. п.

К каждому геоструктурному элементу обычно приурочены определенная гидрогеологическая область, провинция, гидрогеологический район, характеризующиеся комплексом в той или иной мере выдержанных водоносных горизонтов, отличающихся общностью условий питания подземных вод, режима их и т. п.

Элементы геоморфологии в пределах гидрогеологической области или района следует учитывать и анализировать в обосновании проекта скважины вполне целеустремленно, поскольку геоморфологические особенности влияют на местные гидрогеологические условия и процессы, а также на режим водоносных горизонтов (дренирование водоносных горизонтов, различная степень водоносности аллювиальных отложений на разных террасах, зависящая в частности от строения долины и характера причленения террас и пр.).

Рассмотрение и анализ гидрометеорологических факторов в гидрогеологическом заключении могут иметь ценность также только

в том случае, если эти факторы оказывают непосредственное влияние на местные гидрогеологические условия и в частности на режим подземных вод. Обычно же гидрометеорологические факторы в обоснованиях к проектам должным образом не анализируются, освещают как бы в порядке констатации и вследствие этого они нередко оказываются вообще излишними.

Например, в гидрогеологическом обосновании проекта неуместно приводить данные о количестве выпадающих осадков, испаряемости, относительной и абсолютной влажности воздуха в пределах административного района, в котором намечается бурение скважины для вскрытия глубоко залегающего напорного водоносного горизонта, перекрытого мощными водоупорными толщами и имеющего область питания, расположенную далеко за пределами данного района.

Данные о гидрологическом режиме реки будут представлять совершенно определенный интерес в том случае, если скважину проектируют для использования грунтовых вод, питание которых непосредственно связано с местными (в пределах данного района) гидрометеорологическими условиями или с водами реки.

Большое значение для правильного проектирования скважины имеет анализ общих геолого-гидрогеологических условий района и в какой степени они обусловливают различную обводненность даже близко расположенных участков и, следовательно, различную водообеспеченность скважин, попадающих в тот или иной участок. Эти различия особенно ярко проявляются в горных и предгорных районах, но большое значение они имеют и в платформенных областях на участках со сложной тектоникой.

В качестве примера, для сравнения резко различных условий водоносности в платформенной области, можно привести гидрогеологические условия двух смежных геоструктурных элементов — Окско-Цнинского вала и восточного склона Рязано-Костромского прогиба.

Окско-Цнинский вал представляет собой область питания. Инфильтрация происходит путем непосредственного проникновения атмосферных осадков и поверхностных вод в выходы известняков и карстовые воронки, а также через толщи песков четвертичного возраста. Местные метеорологические условия являются достаточно благоприятным источником питания. Рельеф поверхности, имеющий характер равнины, и слабо развитая гидрографическая сеть способствуют инфильтрации. Инфильтрующиеся с поверхности воды проникают по обоим крыльям вала и в долинах рек в известняк и доломиты разных горизонтов каменноугольной системы.

Сток подземных вод в толще каменноугольных известняков происходит на восток и запад, по обоим крыльям вала, а также в северном и южном направлении к рекам Оке и Клязьме.

Подземные воды в известняках вала находятся на глубине 20—40 м, в зависимости от рельефа земной поверхности. Эти воды преимущественно не имеют напора, но в некоторых случаях наблюдается местный напор, вследствие чего в долинах рек иногда встречаются восходящие ключи.

Водоупором служат невыдержанные прослои глин и мергелей, создающие несколько «горизонтов». Дебит, напор и минерализация этих вод находятся в зависимости от весьма ограниченных, специфических местных условий питания, характера кровли и подземного рельефа водоупора. В большинстве случаев производительность скважин, питающихся напорными горизонтами, небольшая.

Восточный склон Рязано-Костромского прогиба является также и западным крылом Окско-Цнинского вала и погружается более круто, чем восточное его крыло. В южной половине Окско-Клязьминской части вала каменноугольные известняки, по-видимому, подверглись древнему размыву в доюрское время и вследствие этого под четвертичными отложениями залегают юрские глины. В северной половине Окско-Клязьминской части вала погружающиеся каменноугольные известняки перекрываются толщей пестроцветных пород татарского яруса.

Питание подземных вод происходит на западном крыле вала, главным образом с востока, со стороны оси вала. Подземные воды здесь, как и на восточном крыле, приобретают значительный напор, являются весьма обильными и слабо минерализованными. Водообилие горизонта, приуроченного к верхнекаменноугольным известнякам, слагающим оба склона Рязано-Костромского прогиба, в отличие от сравнительно слабой водоносности их в центральной части прогиба, объясняется дополнительным местным питанием и подпором воды юрскими глинами, залегающими несогласно на склоне поверхности каменноугольных известняков, срезанной размывом. Эти же водоупорные глины, создавая благоприятные условия для водообильности известняков склона, затрудняют местное питание и обводнение известняков в центральной (осевой) части прогиба, где в результате этого удельные дебиты скважины оказываются в несколько раз меньшими.

Из приведенного примера видно, насколько значительно могут изменяться общее гидравлическое состояние водоносного горизонта, его водообилие, величина напора, а также степень минерализации воды в зависимости от геоструктурных особенностей на сравнительно небольших расстояниях даже в условиях равнинных местностей (в платформенных областях).

Поэтому при составлении предполагаемого гидрогеологического разреза скважины неправильным является применение метода прямой экстраполяции разрезов ближайших скважин без учета особенностей общих тектонических условий района. Если в хорошо изученных платформенных областях, где распространены выдержанные пластовые водоносные горизонты и тектоника вполне ясна, такой метод можно изменять с внесением поправки на разность в высотном положении существующей и проектируемой скважины, то он совершенно неприменим, например, в предгорных областях, в зонах развития отложений конусов выноса и пролювиальных шлейфов.

Отличительной особенностью горизонтов напорных вод, образованных отложениями конусов выноса, является моноклинальная

форма залегания с большими углами падения и весьма ограниченное распространение этих горизонтов по простиранию.

Поэтому, располагая данными только по одному гидрогеологическому разрезу скважины, заложенной в области развития пролювиальных отложений, можно допустить грубые ошибки при проектировании новой скважины, даже близко расположенной, если не учесть при этом характерные особенности геолого-гидрогеологических условий предгорий и в частности — отсутствие здесь пластовых водоносных горизонтов, имеющих значительное простирание.

Таким образом, гидрогеолог, проектирующий разведочно-эксплуатационную скважину на воду, обязан провести в процессе камерального изучения и проработки всех имеющихся материалов рабочий гидрогеологический анализ территории, в пределах которой возможен выбор точки заложения скважины. При этом, в зависимости от наличия материалов, рекомендуется применять все уместные в каждом конкретном случае формы графических построений для составления вспомогательных рабочих профилей, карт изогипс кровли нужного водоносного горизонта и т. д., на основе которых представится возможным провести экстраполяцию или интерполяцию предполагаемого гидрогеологического разреза скважины с той или иной степенью достоверности.

Такие методы можно применять только в хорошо изученных районах и при наличии нескольких достоверных разрезов скважин, точно закрепленных в плановом и высотном отношении.

В условиях малоизученных районов, для которых, например, из общих обзорных материалов имеются только листы геологической карты в масштабе 1 : 1 000 0000—1 : 500 000 и профили по отдельным направлениям, прежде чем переходить к составлению проектного разреза, тем более, необходимо разрабатывать предварительную рабочую гипотезу о местных геологических структурах. В некоторых случаях, когда для этого имеются основания, целесообразно разработать рабочую гипотезу даже в нескольких вариантах, для возможности их сопоставления и выбора наиболее близкой к действительности.

Так же чрезвычайно важно, чтобы гидрогеолог после подробного камерального изучения материалов, перед проектированием скважины, предварительно выезжал на место, намечаемое для бурения с целью рекогносцировки, участия в выборе точки заложения скважины и сбора дополнительных сведений в местных организациях. При этом большую ценность могут представлять данные по эксплуатации существующих скважин. Эти данные необходимо собирать непосредственно на объектах водоснабжения, причем нередко можно получить важные сведения у лиц, повседневно занятых на эксплуатации скважин, занимающихся ремонтом насосного оборудования и пр.

Неправильным является часто применяемый метод проектирования, при котором точка заложения скважины намечается заранее на генеральном плане участка, исключительно на основании тех-

нико-экономических соображений, без учета гидрогеологических условий. Однако в тех случаях, когда точка заложения проектируемой скважины не может быть перемещена в весьма ограниченных пределах (например, при необходимости усиления водоснабжения действующего предприятия), необходимо иметь данные о точном намечаемом ее местоположении и абсолютной высоте. Эти сведения облегчают правильную привязку проектируемой скважины к определенному гидрогеологическому микрорайону или участку.

Иногда появляется необходимость выбора местоположения и проектирования новой скважины в дополнение к существующей и находящейся в эксплуатации (например, для усиления водоснабжения действующего объекта).

Может также возникнуть необходимость заложения скважины на участке, расположенном неподалеку от эксплуатируемых скважин. Нередко также возникает необходимость проектирования второй скважины, поскольку первая пробуренная скважина не обеспечивает расчетного дебита вследствие недостаточной водообильности вскрытого водоносного горизонта.

Вопрос о местоположении второй скважины следует решать в каждом случае особо, исходя из общих гидрогеологических условий, данных бурения и опробования первой скважины, а также технико-экономических и санитарных соображений.

При этом каждый раз неизбежно возникает вопрос о наименьшем допустимом расстоянии между двумя скважинами, при котором взаимодействие их будет незначительно или вовсе исключено.

На участках расположения групповых подземных водозаборов допускается в определенных условиях взаимодействие скважин с относительно небольшими коэффициентами снижения дебита или влияния скважин. Это взаимодействие скважин группового подземного водозабора в каждом конкретном случае должно основываться на соответствующих опытных работах и расчетах.

В условиях проектирования одиночных разведочно-эксплуатационных скважин, как известно, не проводятся предварительные изыскания, включающие буровые и опытные работы, на основе которых могут быть определены радиус влияния и коэффициент снижения дебита. В то же время задача установления величины радиуса влияния, определяющей допустимое расстояние между скважинами, должна быть решена.

В литературе иногда рекомендуется, когда нет наблюденных данных о величине возможного радиуса влияния, практически принимать ее равной 200—250 м.

Приведенные величины являются необоснованными, так как радиус влияния зависит от многих факторов, которые при такой рекомендации не учитываются.

Если следовать по этому пути, то расстояние между скважинами может оказаться завышенным, в других — заниженным. Нередко, по ряду причин, возникает необходимость расположения второй скважины в пределах сравнительно небольшой площадки, значительно

меньшей, чем удвоенная величина указанных выше значений радиуса влияния.

Поэтому подобное ограничение расстояние между скважинами может создать неправильное представление о невозможности расположения в пределах одной площадки двух скважин без их значительного взаимодействия.

В то же время интенсивное взаимовлияние может быть во многих случаях намного меньше приведенных выше величин. В связи с этим границы небольшой площадки нередко могут оказаться вполне достаточными для размещения двух невзаимодействующих скважин.

*Таблица 13*

| Удельный дебит $q$, м³/ч | Радиус влияния $R$, м |
|---|---|
| $>7{,}2$ | 500—300 |
| 7,2—3,6 | 300—100 |
| 3,6—1,8 | 100—50 |
| 1,8—1,2 | 50—25 |
| 1,2—0,7 | 25—10 |
| $<0{,}7$ | $<10$ |

Радиус влияния является переменной величиной и зависит от степени водопроницаемости породы, а также от водообильности горизонта, зависящей в свою очередь также и от источника питания; все эти факторы в конечном счете находят свое отражение в величине понижения при откачке из скважины.

Поэтому, при отсутствии фактических данных о величине радиуса влияния, наиболее правильным будет ориентировочное определение возможной его величины в зависимости от удельного дебита.

На основании большого опыта эксплуатации действующих водозаборных скважин устанавливается некоторая зависимость величины радиуса влияния от удельного дебита скважин, питающихся грунтовыми водами рыхлых обломочных и зернистых пород (табл. 13) [115].

При определении минимального расстояния между двумя скважинами большое значение имеет глубина динамического уровня воды. При неглубоком расположении уровня расстояние между скважинами можно допускать небольшое. Когда же этот уровень находится на глубине, близкой к пределу возможной высоты подъем воды современными насосами, расстояние между скважинами следует увеличивать.

В самых исключительных случаях расстояние между скважинами не следует принимать менее 20 м. Это требование обусловлено тем, что кроме сильного взаимодействия, сказывающегося на производительности скважин при одновременной эксплуатации, неизбежны такие явления, как помутнение откачиваемой воды, вынос песка при поочередной эксплуатации скважин.

Подобные явления обусловливаются резкими изменениями градиентов и направления потока подземной воды в зоне влияния скважины, нарушающими сортировку частиц водоносной породы, образующуюся в результате определенного постоянного режима эксплуатации, в условиях отбора воды из одной скважины.

При проектировании разведочно-эксплуатационной скважины на воду часто возникает вопрос о ее суммарном дебите, а также о положении статического и динамического уровня, когда скважина будет соединять два или большее количество водоносных горизонтов. От правильного решения этого вопроса зависит выбор эксплуатационного водоподъемника, определение глубины, на которую его нужно опустить, создание необходимого наивыгоднейшего понижения и т. д.

В малоизученных районах эти вопросы могут быть решены только при производстве работ, после вскрытия и раздельного опробования каждого горизонта. В районах с хорошо изученными гидрогеологическими условиями прогноз может быть сделан заблаговременно в проекте бурения и опробования скважины при наличии данных, характеризующих основные параметры известных водоносных горизонтов по скважинам, эксплуатирующим эти горизонты.

Суммарный дебит скважины при соединении к ней нескольких гидравлически разобщенных, водоносных горизонтов будет равен сумме дебитов отдельных горизонтов при соответствующем понижении для каждого из них. При различной глубине статических уровней отдельных водоносных горизонтов, в то время когда из скважины не производится откачка, будет происходить поглощение воды из горизонтов, обладающих большим напором, в горизонты с меньшим напором.

*ГЛАВА VII*

# САНИТАРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ И ПРОЕКТА ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Химический и бактериальный состав воды служит объективным показателем возможности использования ее для хозяйственно-питьевого водоснабжения. При изменении в данном пункте или районе санитарных условий или способа забора воды состав и качество ее в водозаборном сооружении могут изменяться. Поэтому о санитарной надежности источника водоснабжения нельзя судить только по данным химико-бактериологических анализов проб воды, взятых при пробных или опытных откачках; необходимо знать санитарную обстановку и гидрогеологические условия участка расположения водозабора и прилегающего к нему района, а также конструкцию водозабора и способы отбора воды. Санитарная обстановка определяется комплексом факторов, возникающих в результате хозяйственно-бытовой и производственной деятельности людей.

Санитарная обстановка является причиной и активным фактором ухудшения качества подземных вод, гидрогеологические же условия определяют пути проникновения загрязнений в водоносные горизонты, а также распространение их в подземных водах.

В незаселенных районах не только грунтовые воды, залегающие вблизи поверхности земли, но и поверхностные воды в бактериальном и на большей территории СССР в химическом отношении удовлетворяют санитарным требованиям. В больших же городах и на территории крупных промышленных предприятий даже артезианские воды часто имеют следы поверхностных загрязнений. Таким образом, при одних и тех же гидрогеологических условиях данный водоносный горизонт может быть санитарно надежным или ненадежным источником водоснабжения.

Санитарные факторы оказывают большее влияние на водоносные горизонты, имеющие облегченные условия поверхностного питания. Поэтому определение характера питания подземных вод и связи их с поверхностными водами — один из основных элементов правильной оценки санитарной надежности водоносного горизонта. Приведенная классификация (рис. 23) подземных вод не охватывает всего многообразия гидрогеологических условий, однако она учитывает наиболее распространенные гидрогеологические условия и помогает дать санитарную оценку водоносного горизонта, выбранного для питания проектируемой разведочно-эксплуатационной скважины.

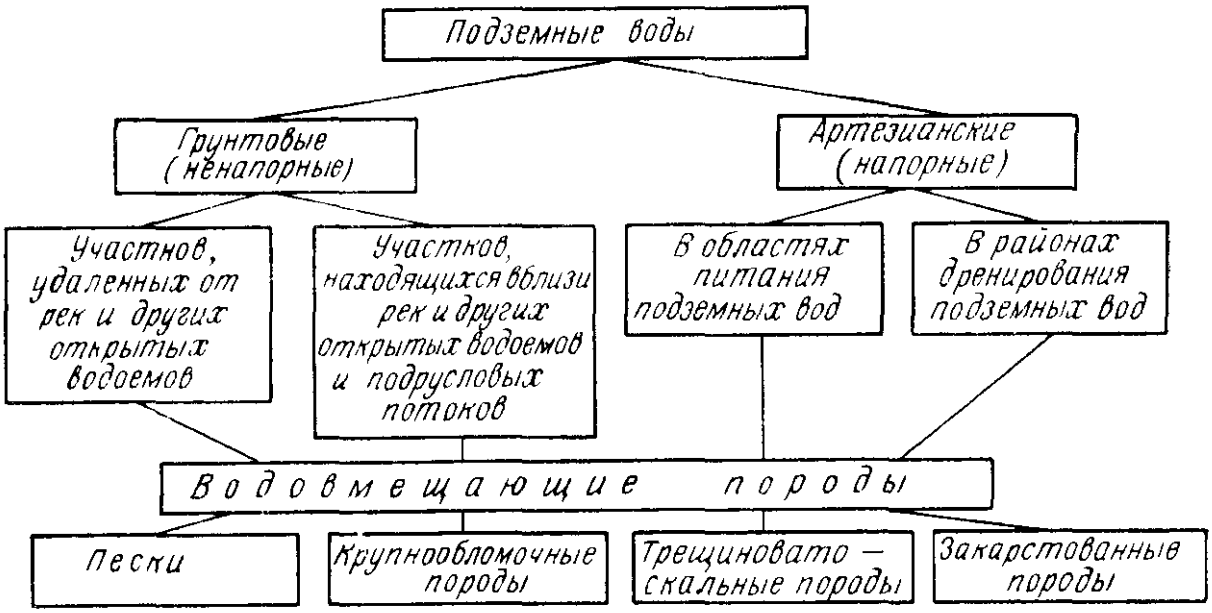



Рис. 23. Классификация подземных вод для их санитарной оценки

Подземные воды подразделяются на грунтовые, питающиеся в основном за счет местной инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод, и артезианские, не имеющие непосредственного питания атмосферными осадками и поверхностными водами, а пополняющиеся из вышележащих водоносных горизонтов при медленной нисходящей фильтрации подземных вод через толщи относительно водоупорных пород, их окна или из отдаленных областей питания.

Грунтовые воды, в свою очередь, подразделяются в зависимости от приуроченности их к участкам, удаленным от открытых водоемов или находящимся вблизи этих водоемов. Грунтовые воды участков, удаленных от рек и других открытых водоемов, питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков, интенсивность которой зависит от количества этих осадков, глубины залегания зеркала грунтовых вод и состава пород зоны аэрации.

На низких террасах, вблизи рек и в подрусловых потоках грунтовые воды, кроме инфильтрации атмосферных осадков, могут питаться речными водами, поэтому в санитарном отношении они менее надежны. Иногда при использовании их следует проводить дополнительные мероприятия по санитарной охране реки.

Возможность загрязнения артезианских вод различна в зависимости от того, находятся ли они в области питания или в районах дренирования водоносного горизонта.

В областях питания при неблагоприятной санитарной обстановке всегда возможно загрязнение артезианского водоносного горизонта, так как в этих местах отмечается нисходящая фильтрация подземных вод, усиливающаяся в участках выклинивания водоупорных пород, залегающих в кровле артезианского горизонта. Кроме того, артезианский горизонт может загрязниться через стволы, затрубные пространства действующих и заброшенных скважин.

В районах дренирования артезианские воды имеют восходящее движение, поэтому загрязнение их с поверхности исключается

даже при ненадежной водоупорной кровле. Однако такое положение сохраняется лишь до тех пор, пока уровень воды в артезианском горизонте в данном участке находится выше уровня поверхностных и грунтовых вод. Если же динамический уровень артезианских вод опустится ниже уровня поверхностных и грунтовых вод вследствие интенсивной откачки, то условия возможного загрязнения водоносного горизонта здесь будут такими же, как и в областях питания.

Санитарная надежность подземных вод зависит также от характера водопроницаемости водоносных пород. Нужно отличать водоносные горизонты, приуроченные к пескам, от горизонтов, приуроченных к грубообломочным, трещиноватым или закарстованным породам. В песках вода фильтруется медленно и более или менее равномерно, в трещиноватых же, а особенно в закарстованных породах вода движется неравномерно и часто с большими скоростями, в результате чего она может загрязняться на значительном расстоянии в довольно короткое время.

Таким образом, в приведенной классификации подземные воды отличаются друг от друга тем, что поверхностные загрязнения проникают в них различными путями. Кроме того, распространение загрязненных подземных вод в различных водоносных породах имеет неодинаковый характер и интенсивность.

Качество подземных вод может ухудшаться в результате проникновения в водоносные горизонты неустойчивых или устойчивых загрязнений. К неустойчивым загрязнениям относятся бактериальные, некоторые вредные химические вещества (например, цианиды), а также радиоактивные изотопы; к устойчивым — большинство химических соединений неорганического и органического происхождения.

Основным критерием оценки опасности загрязнения подземных вод неустойчивыми веществами является продолжительность существования указанных веществ в этих водах.

Обеспечение надлежащего качества воды по бактериальным данным является очень важным показателем безопасности использования водозаборных скважин в эпидемическом отношении, так как в преобладающем большинстве случаев вода из скважин подается в водопроводную сеть без предварительного ее обеззараживания. В этом главное преимущество подземных вод по сравнению с поверхностными источниками водоснабжения. Однако сведения о выживаемости бактериальных загрязнений в подземных водах еще недостаточно полные и противоречивые.

Некоторые авторы считают, что 30 сут вполне достаточно для самоочищения подземных вод от бактерий [107]. С. Н. Черкинский и Е. Л. Минкин считают, что при определении положения границ второго пояса зоны санитарной охраны подземного источника водоснабжения время полного отмирания бактерий и энтеровирусов в подземной воде можно принимать 100 сут [129].

По данным лабораторных экспериментальных исследований Г. А. Багдасарьян и Р. М. Абиевой [13], на длительность выживания энтеро и аденовирусов оказывают влияние температура и степень

загрязнения воды, а также присутствие бактериальной микрофлоры. Из исследованных вирусов наиболее длительные сроки выживания в водопроводной воде установлены для аденовируса — 68 сут при температуре воды 22° и 75—105 сут при температуре воды 6° и 4° соответственно. Кишечная палочка *E. Coli* сохраняется в воде более 300 сут.

Согласно наблюдениям Б. М. Кудрявцевой [79], при искусственном загрязнении грунтовых вод аллювиальных песков кишечная палочка сохраняла жизнеспособность в течение 3—3,5 мес.

В другой работе Б. М. Кудрявцева [80] сообщает, что одним из факторов бактериального самоочищения подземных вод при фильтрации их через пески является адсорбция, интенсивность которой зависит от крупности частиц песка. Адсорбированные бактерии *E. Coli* десорбируются водой, не загрязненной этими бактериями, причем десорбция их возрастает с увеличением скорости движения чистой воды. Жизнеспособность сорбированных бактерий *E. Coli* устанавливалась в течение до 200 сут.

В подземных водах практически отсутствуют бактерии — антагонисты, в них относительно мало кислорода, окисляющего микроорганизмы, они недоступны для солнечного света, усиливающего минерализацию органических веществ. По-видимому, время выживания бактерий в подземных водах зависит от многих условий: состава и сложения водовмещающих пород, скорости движения подземных вод, температуры и т. д.

Большое влияние на длительность выживания бактерий в подземных водах, вероятно, оказывает степень загрязнения этих вод. Значительное бактериальное загрязнение грунтовых вод аллювиальных песков обнаружено Н. И. Ананьевым и Н. Д. Деминым [6] на расстоянии 830 м от пруда-накопителя сточных вод в одном городе Целиноградской области. Коли-титр стоков в пруде-накопителе равен 0,001—0,0001, в воде скважины, находящейся в 350 м, 0,04—0,4, в воде скважины, находящейся в 830 м от пруда-накопителя, 1—4. Коли-титр незагрязненных вод этого водоносного горизонта в районе города более 333. Действительная скорость грунтовых вод от пруда-накопителя составляет около 0,8 м. Таким образом, кишечная палочка в этих сильно загрязненных подземных водах сохраняется более 1000 сут. Наряду с бактериальным загрязнением в указанных водах отмечаются повышенное количество хлоридов (более 570 мг/л), сульфатов (более 160 мг/л) и повышенная окисляемость (более 8,5 мг/л $O_2$).

Как правило, кишечная палочка по сравнению с болезнетворными бактериями дольше сохраняется в подземных водах. Однако встречаются разновидности кишечной палочки, вызывающие желудочно-кишечные заболевания [71]. Значительную опасность для подземных вод представляет загрязнение их вирусами.

Для гидрогеологических расчетов А. С. Белицким [18] было предложено принимать условное время выживания бактерий в подземных водах, равное 400 сут. Как видно из приведенных выше

материалов исследований последних лет, пока нет оснований изменять указанное время. Как было показано Я. И. Вайсманом [32], это время практически гарантирует очищение от бактерий воды водоносного горизонта, сложенного аллювиальными крупнозернистыми песками.

Время распада радиоактивных веществ может быть точно определено по начальной концентрации этих веществ и периоду их полураспада (справочники физических констант).

Устойчивые вещества в большом количестве содержатся в сточных водах различных промышленных предприятий. Это хлориды, сульфаты, нитраты, а также нефть, фенол и т. п. В связи с широким применением новых моющих средств появилась опасность загрязнения подземных вод и этими веществами, многие из которых являются очень устойчивыми. Источниками загрязнения подземных вод могут быть и ядохимикаты, широко используемые в последнее время в сельском хозяйстве (ДДТ, гексахлоран, альдрин и др.). Устойчивые, не сорбируемые химические вещества движутся в подземных потоках со скоростью этих потоков. Уменьшение концентрации указанных веществ в загрязненных водах, в основном, происходит за счет разбавления их инфильтрующимися атмосферными осадками и чистыми пластовыми водами.

Бурное развитие промышленности, индустриализация сельского хозяйства и урбанизация населенных пунктов приводят к тому, что с каждым годом количество и мощность источников загрязнения внешней среды, в том числе и подземных вод, увеличиваются. В промышленно-развитых странах загрязнение внешней среды уже приводит во многих районах к существенному ухудшению условий жизни людей, а также наносит ущерб водным и другим природным ресурсам.

В США, Англии, Франции, ФРГ, Швеции и других развитых странах в последнее десятилетие приняты законы и постановления, направленные на уменьшение процессов загрязнения объектов внешней среды от газообразных, жидких и твердых промышленных и бытовых отходов.

Для предупреждения загрязнения внешней среды и рационального использования природных ресурсов Верховный Совет СССР в 1970 г. принял закон об утверждении основ водного законодательства Союза ССР и союзных республик [1], а в 1972 г. закон о мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов [2]. В начале 1973 г. было опубликовано Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о конкретных мероприятиях по обеспечению выполнения указанных выше законов [3].

---

[1] *Известия № 292 (16602) от 10 декабря 1970 г.*
[2] *Правда № 265 (19773) от 21 сентября 1972 г.*
[3] *Правда № 10 (19884) от 10 января 1973 г.*

Принятые Верховным Советом СССР законы об охране природы и рациональному использованию природных ресурсов еще более усиливают ответственность специалистов, занимающихся проектированием и сооружением водозаборных скважин. Качество воды в этих скважинах должно быть гарантировано правильным выбором мест их расположения по геологическим и санитарным условиям, а также по условиям существующего и перспективного хозяйственного использования окружающей территории.

## § 1. ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН

Довольно часто минерализация воды в водозаборных скважинах постепенно увеличивается. Иногда даже приходится отказываться от использования таких скважин.

Минерализация в водозаборной скважине может увеличиваться вследствие подсасывания минерализованных вод из других водоносных горизонтов или проникновения в используемый водоносный горизонт поверхностных загрязнений.

Даже в естественных условиях вода движется из одного водоносного горизонта в другой; при работе же водозаборной скважины вследствие создания депрессионной воронки приток из других водоносных горизонтов усиливается. В результате изменяется химический состав воды в скважине, так как степень и характер минерализации вод разных водоносных горизонтов могут быть различны.

Обычно следует опасаться значительного подсасывания из нижележащего водоносного горизонта, так как минерализация воды, как правило, возрастает с глубиной. Ниже приводится ряд примеров изменения минерализации воды в водозаборных скважинах, вызванного подсасыванием минерализованных вод из пород, подстилающих используемый водоносный горизонт.

Водопровод (города, находящегося на западном склоне Северного Урала) питается водами водоносного горизонта известняков плитняковой толщи кунгурского яруса. Воды эти пресные, содержат небольшое количество сульфатов (до 30 мг/л) и хлоридов (до 15 мг/л), общая жесткость их не превышает 4—5 мг-экв/л. Водоносный горизонт плитняковой толщи подстилается загипсованными глинами и мергелями глинисто-мергелистой толщи того же яруса, воды которой содержат до 1000 мг/л сульфатов, до 20 мг/л хлоридов и имеют общую жесткость до 30 мг-экв/л.

При эксплуатации водозаборных скважин, доведенных до кровли глинисто-мергелистой толщи, минерализация вод плитнякового водоносного горизонта не изменяется до тех пор, пока динамический уровень в скважинах находится выше пьезометрического уровня воды в глинисто-мергелистой толще. Но когда динамический уровень воды опускается ниже этого пьезометрического уровня, из глинисто-мергелистой толщи подсасываются сульфатные воды. Скважины дают воду с содержанием сульфатов до 200 мг/л и общей

жесткостью до 11—13 мг-экв/л. После уменьшения интенсивности эксплуатации скважин восстанавливается химический состав воды, соответствующий обычному ее составу в водоносном горизонте плитняковой толщи.

Изменение состава воды в водозаборных скважинах за счет подсасывания минерализованных вод нижележащей гипсоносной нижнепермской толщи отмечается также в одном из районов Горьковской области. Здесь имеются два мощных подземных водозабора, состоящих из 37 и 40 скважин, питающихся водами древнеаллювиальных отложений. Эти водозаборы пущены в эксплуатацию в 1937 г.

За период с 1937 до 1968 г. количество сульфатов в воде увеличилось с 30 до 550 мг/л, хлоридов с 3 до 24 мг/л и т. д. [50].

Значительное увеличение минерализации воды в водозаборных скважинах вследствие притока минерализованных вод из нижнего водоносного горизонта наблюдалось в г. Жигулевске, расположенном на коренном берегу Волги. Водозаборные скважины глубиной до 60 м питаются водами водоносного горизонта верхнего карбона. В октябре 1955 г. вода скважин содержала 460—740 мг/л сухого остатка, общая жесткость ее была равна 7,5—8,5 мг-экв/л. Но в 1956 г. одновременно с заполнением Куйбышевского водохранилища резко повысилась минерализация воды в действующих водозаборных скважинах в основном за счет сульфатов. Содержание сухого остатка в воде достигало 2060—2580 мг/л, а общая жесткость увеличилась до 15 мг-экв/л [96].

Это связано с тем, что Волга дренирует не только пресные воды верхнего карбона, но и минерализованные воды среднего карбона. Поэтому при подъеме уровня воды в реке в связи с заполнением водохранилища интенсивность дренирования минерализованных вод уменьшилась, что вызвало повышение уровня указанных вод на возвышенном коренном берегу, где расположены водозаборные скважины г. Жигулевска. Таким образом, облегчилось подсасывание этих вод указанными скважинами.

Химический состав воды в эксплуатируемом водоносном горизонте вследствие нарушения естественного гидродинамического режима изменяется, по-видимому, всегда, но если водоносный горизонт изолирован от других достаточно мощными водоупорными или слабоводопроницаемыми породами, эти изменения малы и не фиксируются современными методами исследований.

Влияние водохранилищ на изменение состава подземных вод может проявляться не только в увеличении подсасывания минерализованных вод из нижних водоносных горизонтов. Часто наблюдается, что вследствие подъема уровня воды в водохранилище происходит подпор грунтовых вод, замедляется их сток и увеличивается минерализация этих вод. В некоторых районах, примыкающих к Каховскому водохранилищу, ухудшились физико-химические показатели качества грунтовых вод после подъема уровня воды в водохранилище в результате увеличения содержания в них суль-

фатов кальция, так как в водоносную толщу включились загипсованные лессовидные супеси и суглинки.

Химический состав подземных вод значительно изменился после заполнения Камского водохранилища. Вследствие подпора поверхностных и подземных вод на территории города значительно возросла интенсивность загрязнения последних стоками расположенных здесь промышленных предприятий [31].

Увеличение минерализации воды в водозаборных скважинах иногда наблюдается при расположении их близ берега моря. Так, Я. П. Озолиным было установлено, что на побережье Азовского моря вода водозаборных скважин засолоняется вследствие подсасывания морской воды.

Последнее время случаи проникновения морских соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты часто отмечаются в отечественной и зарубежной литературе: в Эстонской ССР на побережье Балтийского моря, в прибрежных зонах Калифорнии в США, в прибрежных районах Японии и др.

Иногда изменение минерализации воды в водоносном горизонте связано с процессами, происходящими в зоне аэрации. Интересным примером этого явления может служить надъюрский водоносный горизонт, используемый Мытищинским водозабором, который эксплуатируется уже около 200 лет. По данным С. А. Озерова, общий расход водозабора с 4000 м³/сут в 1805 г. увеличился до 41 500 м/сут в 1903 г. За этот период уровень воды в скважинах снизился на 13 м, а минерализация ее возросла: количество сухого остатка увеличилось с 145 до 501 мг/л, общая жесткость с 2,3 до 7,7 мг-экв/л, количество сульфатов с 5 до 140 мг/л, хлоридов с 2,5 до 5,1 мг/л, железа с 0,13 до 1,3 мг/л.

Надъюрский водоносный горизонт покрыт толщей морены, мощность которой достигает 10—15 м, но в отдельных местах морена отсутствует. Выше залегают послеледниковые отложения, состоящие из песков, глин и торфа. Согласно исследованиям С. А. Озерова, повышение минерализации воды в Мытищинском водозаборе, связано с выщелачиванием серных соединений, заключенных в осушаемой части торфяных массивов, вследствие снижения уровня подземных вод в этом районе под влиянием эксплуатации водозабора.

Начиная с 1903 г. в течение 15 лет общий дебит Мытищинского водозабора был уменьшен до 30 000—35 000 м³/сут. Это привело к уменьшению минерализации воды в скважинах; количество сухого остатка понизилось до 320 мг/л, общая жесткость до 5,3 мг-экв/л и содержание сульфатов до 54 мг/л. Наибольший расход водозабора приходится на 1903 г., а максимальная минерализация воды отмечалась в 1910 г. Таким образом, на изменение химического состава воды в данных условиях потребовалось около 7 лет.

Химический состав вод аллювиальных террас, как уже указывалось, непостоянен вследствие изменения количества вод, поступающих в эти отложения из различных источников питания.

Изменение состава воды в эксплуатируемом водоносном горизонте часто бывает связано с проникновением в него загрязненных грунтовых или поверхностных вод. Изучение ряда районов показывает, что в местах, где имеются крупные источники загрязнения, занимающие большие площади (крупные поля фильтрации, большие города и заводы, особенно химические), изменяется минерализация не только грунтовых, но и артезианских вод.

Примером влияния крупного поверхностного источника загрязнения на состав артезианских вод являются Люберецкие поля фильтрации, находящиеся в окрестностях Москвы. В районе этих полей фильтрации водозаборные скважины питаются водами мячковско-подольского водоносного горизонта среднего карбона, залегающего здесь на глубине 50—60 м от поверхности земли под глинами верхнего карбона и верхней юры. Мощность глин верхнего карбона не превышает 10 м, а мощность верхнеюрских глин непостоянна. Имеется участок к югу от полей фильтрации, где верхнеюрские глины совсем отсутствуют, в других частях района и в пределах площади, занятой полями фильтрации, мощность этих глин колеблется от 10 до 40 м.

Поля фильтрации были организованы в 1913 г. [1]. Они занимали площадь около 1300 га. После 8 лет эксплуатации полей фильтрации химический состав вод мячковско-подольского водоносного горизонта начал изменяться (табл. 14). Из табл. 14 видно, что, кроме увеличения общей минерализации, содержания хлоридов и сульфатов, отмечается большое повышение количества железа. В загрязненных водах также отмечается резкий запах сероводорода.

Химический состав артезианских вод, по данным 1952 г., изменился в зоне шириной около 3 км и длиной 9,5 км, вытянутой к юго-западу от полей фильтрации, вниз по потоку подземных вод к р. Москве. За пределами полосы химический состав артезианских вод практически не изменялся.

В последние годы в г. Люберцы, расположенном непосредственно ниже по потоку подземных вод Люберецких полей фильтрации, значительно увеличился отбор воды из водоносного горизонта среднего карбона. Согласно данным В. Ф. Ефремова и Б. М. Кудрявцевой, это обусловило полный перехват загрязненных подземных вод водозаборными скважинами города, вследствие чего уменьшилась площадь зоны влияния указанных полей фильтрации.

Таким образом, сточные воды проникли в артезианский водоносный горизонт через покрывающие его отложения. В этом районе нет недействующих заброшенных скважин, которые могли бы служить путями для движения загрязненных грунтовых вод. Кроме того, химический состав артезианской воды изменяется в скважинах, имеющих конструкцию, удовлетворяющую санитарно-техническим требованиям. Однако несмотря на заметное влияние полей

[1] *В настоящее время Люберецкие поля фильтрации ликвидированы в связи со строительством мощной Люберецкой станции аэрации.*

*Таблица 14*

**Изменение химического состава вод мячковско-подольского водоносного горизонта в районе Люберецких полей фильтрации**

| Показатели | До устройства полей фильтрации в 1910 г. | До данным 1960—1970 гг. |
|---|---|---|
| Сухой остаток, мг/л | 204—282 | До 600 |
| Жесткость общая, мг-экв/л | 3,4—4,5 | » 8,0 |
| Жесткость карбонатная, мг-экв/л | 3,2—4,3 | » 5,7 |
| Окисляемость, мг/л | 1,7—2,0 | » 3,0 |
| Содержание, мг/л: | | |
| хлоридов | 3,0—5,5 | » 100 |
| сульфатов | 22,0—23,5 | » 80 |
| азота аммонийного | Следы | |
| азота нитритов | 0,005 | До 0,005 |
| азота нитратов | 0,01 | » 0,1 |
| кальция | 52,0—84,5 | » 120 |
| магния | 9,5—17,5 | » 22 |
| железа | 0,5—0,8 | » 5 |

фильтрации на химический состав артезианских вод в бактериальном отношении, качество последних остается удовлетворительным.

В настоящее время установлено, что не только крупные поля фильтрации изменяют состав подземных вод, но и при поливе сточными водами сельскохозяйственных полей (поля орошения) отмечается ухудшение качества воды на занимаемых ими территориях. Так, на большой площади Шкотогорского сельскохозяйственного массива орошения и на расстоянии 250 м от его границ в водах четвертичных отложений и меньшей степени в водах понта повышалось содержание хлоридов и азотосодержащих соединений. Во время полива полей сточными водами снижаются бактериальные показатели в подземных водах до 0,04—0,004 [68].

Экспериментальными исследованиями показано, что присутствие в сточных водах детергентов (моющих веществ) способствует миграции в подземных водах бактериальных загрязнений.

В связи с развитием использования в сельском хозяйстве удобрений и ядохимикатов отмечается загрязнение подземных вод азотсодержащими соединениями, альдрином, гексохлораном, ДДТ и др. [41, 48]. Последние указывают, что в северо-западном районе Европейской части СССР препарат ДДТ в небольших количествах обнаружен во всех водоносных горизонтах, используемых для водоснабжения.

Его меньше в водах четвертичных рыхлых отложений и несколько больше в водах карбонатных пород ордовика.

В местах интенсивного применения пестицидов, особенно в республиках Средней Азии при разведении хлопка, некоторыми иссле-

дователями уже ставится вопрос о необходимости выбора места получения воды для водоснабжения с учетом размещения полей, обрабатываемых ядохимикатами [122].

Минеральные удобрения, широко используемые в Молдавии, явились источником значительного содержания нитратов в подземных водах этой республики. По данным А. П. Дискаленко [53], из 937 обследованных скважин, используемых для водоснабжения, в воде 136 скважин обнаружено нитратов более 10 мг/л (выше предельно допустимой концентрации — по азоту).

Нередко качество воды в действующих водозаборных скважинах ухудшается вследствие подсасывания загрязненных речных вод. Если реки загрязнены нефтепродуктами, то в воде скважин появляется запах нефти. Запах нефти отмечается в водах скважин подземного водозабора, которые находятся в пойменной части долины р. Уфимки и питаются водоносным горизонтом аллювиальных песков, а также в водозаборных скважинах нефтеперегонного завода, расположенных недалеко от р. Москвы. Большинство скважин этого завода питается водами известняков мячковско-подольского горизонта среднего карбона. Эти известняки, по-видимому, прорезаны здесь древним ложем долины р. Москвы. Однако запах нефти начал отмечаться не только в воде указанных скважин, но и в воде скважин, питающихся водоносным горизонтом нижнего карбона, кровля которого залегает на глубине 150—170 м от поверхности земли [20].

Нефть и жидкие нефтепродукты (керосин, бензин и др.) хорошо мигрируют с подземными водами. В одном городе рядом с территорией первого пояса зоны санитарной охраны крупного подземного водозабора, состоящего из 14 скважин, была устроена бензозаправочная станция для автомашин. Это явилось причиной появления запаха бензина в воде ближайших скважин, находящихся на расстоянии около 100 м от бензостанции. Скважины питаются водами древнеаллювиальных песков, уровень воды в водоносном горизонте находится на глубине 15—20 м от поверхности земли.

В каптаже источника, используемого для водоснабжения, скопилось значительное количество нефти, поступившей из нефтехранилища, находящегося в 800 м от этого каптажа, несмотря на наличие в кровле водоносного горизонта 16-м слоя суглинка [30].

Очень часто воду неустойчивого химического состава дают скважины, расположенные на производственных площадках промышленных предприятий. Обычно в воде этих скважин увеличивается содержание тех химических компонентов, которые характерны для производственных растворов, сточных вод и твердых отходов данного предприятия. Примером может служить значительное загрязнение подземной воды хромом на одном из металлообрабатывающих заводов. На территории этого завода три водозаборные скважины, расположенные близ гальванического цеха, были пробурены еще до Октябрьской революции. До 1957 г. они давали воду удовлетво-

рительного качества. В конце 1957 г. на одной из скважин установили более мощный насос, когда его пустили в работу, то вода этой и соседних с ней двух скважин приобрела зеленый цвет из-за высокого содержания хрома, достигающего 40 мг/л. Была прекращена эксплуатация всех трех скважин, тогда хром появился в воде четвертой скважины, находящейся в 150 м от указанных трех скважин. Чтобы загрязненные подземные воды не распространились по водоносному горизонту, пришлось возобновить откачку из первых трех скважин, а воду использовать для технических целей.

Водозаборные скважины этого завода питаются водами известняков верхнего карбона. Уровень этих вод находится на глубине 30—40 м от поверхности земли. В результате многолетней работы гальванических цехов произошло местное загрязнение горных пород и подземных вод соединениями шестивалентного хрома. Более интенсивный забор воды из водоносного горизонта нарушил существовавшее здесь неустойчивое равновесие между притоком чистой воды из основной части водоносного горизонта и притоком воды из загрязненного участка.

Наиболее часто химический состав подземных вод изменяется в районах расположения химических заводов в результате проникновения в водоносные горизонты промышленных стоков. В районе солеотвалов калийного комбината гидрокарбонатные подземные воды с плотным остатком 200 мг/л в течение 5 лет изменили свой состав до высокоминерализованных хлоридно-натровых вод с плотным остатком 10—20 г/л.

По данным Д. К. Осинцева [94], в одном из городов после пуска в эксплуатацию водоема, принимающего сточные воды обогатительной фабрики железорудного комбината, вода водозаборных скважин, находящихся на расстоянии 0,5—1,5 км от этого водоема, стала содержать флотореагенты, в том числе фенолы (от 0,01 до 0,5 мг/л). Значительные изменения химического состава вод неоген-палеогеновых отложений происходят в районах расположения хвостохранилищ в Криворожском железорудном бассейне.

Накопитель фторсодержащих шламов одного завода увеличил во много раз содержание фтора в подземных водах ниже по потоку их. Вблизи накопителя содержание фтора в этих водах достигает 17,9 мг/л, в расстоянии 3 км оно падает до 3,2 мг/л, фоновые же значения (1—1,4 мг/л) получены только на расстоянии 10 км от накопителя.

Воды крупных подземных водозаборов, питающихся водоносным горизонтом аллювиальных отложений долины р. Черчик, содержат повышенные количества азотистых соединений, вследствие инфильтрации промышленных стоков из хранилищ и канализационных коммуникаций Черчикского электрохимического комбината, выпускающего азотистые удобрения.

В Горьковской области крупная свалка твердых промышленных отходов, содержащих большие количества органических веществ,

фенолсодержащих смол, шламов, богатых цианидами, роданитами и др., значительно ухудшила состав и качество грунтовых вод, представляющих здесь интерес для водоснабжения [49].

Примером значительного ухудшения качества подземных вод, наносящего большой ущерб ресурсам подземных вод, являются отдельные участки, расположенные вдоль р. Северный Донец. Для водоснабжения на этих участках, в основном, используются воды мергельно-меловых отложений верхнего мела. Но находящиеся здесь промышленные комбинаты в большом количестве сбрасывают неочищенные стоки непосредственно в реку или в пруды- накопители. Наблюдается интенсивная инфильтрация этих стоков, вследствие чего происходит загрязнение подземных вод [52].

Заметные изменения состава подземных вод наблюдаются в районах мощных тепловых электростанций. Основным источником загрязнения служат золотоотстойники, занимающие большие территории.

Недалеко от тепловой электростанции расположен подземный водозабор, пущенный в эксплуатацию в 1955 г. Скважины этого водозабора питаются водами мергельно-мелового водоносного горизонта верхнего мела. Глубина скважин 60—70 м. Золоотстойник начал работать с 1956 г. После шести лет его эксплуатации начал изменяться состав воды в водозаборных скважинах. В табл. 15 приведены данные анализов воды из двух скважин этого водозабора, взятой в 1955 и 1970 гг. [29].

Химический состав подземных вод часто изменяется на территориях населенных пунктов и за пределами расположения промышленных предприятий. Эти изменения определяются величиной населенного пункта, санитарным состоянием его территории и степенью защищенного водоносного горизонта.

Санитарно-гидрогеологическое обследование источников водоснабжения в Литовской ССР показало, что грунтовые воды городов имеют повышенное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов, аммиака и других, а также пониженные бактериальные показатели по сравнению с сельской местностью. Общая минерализация не загрязненных грунтовых вод в Литве находится в пределах 300—700 мг/л (воды гидрокарбонатно-кальциевые), а в городах 500—1000 мг/л, достигая 1500—1800 мг/л.

Под влиянием проникновения загрязненных грунтовых вод медленно повышаются содержание хлоридов, аммиака и окисляемость вод артезианских горизонтов верхнего, среднего и даже нижнего карбона; последний залегает на глубине 200 м от поверхности земли под выдержанной толщей верейских глин среднего карбона [36]. Согласно исследованиям П. В. Остапеня [95], общий сток хлоридов в подземных водах в том или ином пункте зависит от количества хлоридов, содержащихся в поваренной соли, потребляемой населением, и в используемых здесь минеральных удобрениях.

*Таблица 15*

**Изменение состава воды скважин водозабора**
(по М. С. Бураховичу и др.)

| Наименование компонентов | Скв. 1 | | Скв. 4 | |
|---|---|---|---|---|
| | Год | | | |
| | 1955 | 1970 | 1955 | 1970 |
| Расстояние от золоотстойника, м | 650 | — | 1100 | — |
| Прозрачность, см | 30 | 8 | 30 | 30 |
| Реакция pH | 7,3 | 7,6 | 7,2 | 7,7 |
| Жесткость общая, мг-экв | 4,4 | 12,0 | 2,9 | 6,4 |
| Сухой остаток, мг/л | 160,0 | 1172,0 | 114,0 | 460,0 |
| Хлориды, мг/л | 22,0 | 300,0 | 19,4 | 104,0 |
| Сульфаты, мг/л | 8,9 | 395,0 | 16,4 | 85,0 |
| Окисляемость, мг/л $O_2$ | 0,3 | 1,5 | 1,2 | 1,2 |

Изучив химический состав артезианских вод верхнефаменского горизонта верхнего девона на территории города, В. И. Ракитянский установил четкую зависимость величины изменения этого состава от степени защищенности данного горизонта и состояния санитарной обстановки территории. Первая группа водозаборных скважин расположена в старой, наиболее загрязненной части города в долине, вторая группа скважин находится тоже в долине, но в новой благоустроенной части города, и скважины третьей группы пробурены на водораздельных возвышенностях и их склонах. В долине этой реки на верхнефаменских водоносных известняках местами непосредственно залегают аллювиальные отложения.

Изменение химического состава воды в скважинах первых двух групп за 14 лет (с 1948 по 1962 г.) показано в табл. 16, химический состав воды в скважинах третьей группы за указанный период практически не изменился.

Отмечается, что содержание органических веществ, нитритов, нитратов и железа в воде всех трех групп скважин изменяется незначительно, бактериологические показатели также почти не изменяются.

Причиной изменения химического состава подземных вод могут являться также свалки мусора. В районах расположения свалок наблюдается существенное загрязнение воды даже в скважинах, питающихся артезианскими горизонтами, залегающими на глубине 120 м от поверхности земли [73]. Под свалками мусора увеличивается общая жесткость грунтовых вод до 13,5 мг-экв/л и содержание нитратов до 20,8 мг/л. Повышаются также количество хлоридов и щелочность. Под свалками возникает восстановительная обстановка с большим микробиологическим загрязнением.

*Таблица 16*

**Изменение химического состава артезианских вод за период с 1948 по 1962 г. (по данным В. И. Ракитянского)**

| Показатели | Группы скважин | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I | | II | |
| | Год | | | |
| | 1948 | 1962 | 1948 | 1962 |
| Сухой остаток, мг/л | 325,0 | 607,0 | 335,0 | 380,0 |
| Жесткость общая, мг-экв/л | 6,0 | 11,0 | 6,2 | 7,2 |
| Содержание, мг/л: | | | | |
| сульфатов | 14,7 | 76,7 | 18,0 | 38,0 |
| хлоридов | 5,3 | 59,3 | 2,0 | 10,5 |

Изменение химического состава и ухудшение качества воды в действующих водозаборных скважинах иногда обусловлено несоблюдением санитарно-технических требований при проектировании скважин и выполнении их конструкции. Так, вследствие неплотного соприкосновения наружных обсадных труб с породами при роторном бурении, когда не проводят затрубного подбашмачного цементирования, грунтовые воды четвертичных отложений проникают в приемные части артезианских скважин.Воды четвертичных отложений содержат большие количества железа, вследствие протекания их по неплотным затрубным пространствам увеличивается содержание этого компонента в водах каменноугольных отложений, которыми питаются артезианские скважины. Многолетними наблюдениями, проведенными М. И. Шрейбером, было установлено, что дефектная конструкция ряда неработающих скважин обусловила повышенные количества железа в воде некоторых действующих водозаборных скважин, питающихся верхне-гжельским водоносным горизонтом верхнего карбона. После тщательного тампонирования указанных дефектных скважин количество железа в воде действующих скважин намного уменьшилось, до пределов допустимых концентраций.

При неблагоприятном санитарном окружении скважины в ее воде может содержаться повышенное количество соединений азота. Присутствие нитритов и аммиака указывает на органическое загрязнение воды, обычно обусловленное непосредственным проникновением загрязненных поверхностных или грунтовых вод через устья скважин, через каверны в обсадных трубах или по неплотным затрубным пространствам. В результате, как правило, качество воды по бактериальным показателям ухудшается. При более удаленном источнике загрязнения нитриты и аммиак окисляются и

в воде скважин отмечается присутствие повышенных количеств нитратов. Однако большое содержание аммиака и нитратов в подземных водах, равное десяткам миллиграммов на 1 л, иногда не связано с поверхностным загрязнением, а обусловлено естественными условиями формирования состава этих вод. Такие воды обычно встречаются в глубоколежащих водоносных горизонтах, находящихся в условиях восстановительной среды.

Приведенные материалы показывают, что обеспечение стабильности состава воды важно учитывать при проектировании разведочно-эксплуатационных скважин.

Если близко от подошвы водоносного горизонта, намеченного к использованию, залегают минерализованные воды, то забой скважины не следует приближать к этой подошве. В районах с неблагоприятными санитарными условиями при выборе водоносного горизонта для питания скважины нужно отдавать предпочтение водоносному горизонту, залегающему глубже от поверхности земли и перекрытому толщами водоупорных пород. По возможности место заложения разведочно-эксплуатационных скважин следует удалять от источников загрязнения подземных вод. Чем хуже защищен выбранный водоносный горизонт, тем дальше нужно расположить скважину от указанного источника.

## § 2. ВЫБОР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИНЫ

Разведочно-эксплуатационная скважина должна быть заложена на таком участке, где гидрогеологические условия допускают получение требуемого количества воды, а состояние его удовлетворяет санитарным требованиям. Вместе с тем по технико-экономическим соображениям скважину желательно не удалять на большие расстояния от объекта водоснабжения.

Если в населенном пункте уже существуют водозаборные скважины, то новую разведочно-эксплуатационную скважину следует закладывать с учетом возможности соединения ее с существующими скважинами для создания взаимного реэерва. В настоящее время это условие имеет большое эначение в связи с применением глубинных центробежных насосов.

При выборе места заложения разведочно-эксплуатационной скважины санитарные требования не всегда согласуются с гидрогеологическими о наиболее благоприятных условиях получения подземных вод в данном районе. Очень часто намеченный к использованию водоносный горизонт характеризуется большим водообилием на участках, где он имеет облегченную связь с поверхностными водами и, следовательно, более подвержен проникновению в него загрязнений с поверхности эемли. Можно привести следующие примеры.

1. Водоносные горизонты, приуроченные к закарстованным известнякам, обычно более водообильны в пониженных частях долин

рек, где известняки не покрыты водоупорными породами (рис. 24). В возвышенных частях рельефа на известняках нередко залегают мощные толщи водоупорных пород, затрудняющие проникновение в водоносный горизонт поверхностных загрязнений, но здесь слабо развита открытая трещиноватость и водоносный горизонт имеет малую водообильность.

2. Часто бывает необходимо заложить разведочно-эксплуатационную скважину на пойменной террасе долины вблизи реки, чтобы обеспечить требуемую водообильность скважины в результате подсасывания речной воды, которая, однако, может быть загрязнена.

В описанных случаях к размещению разведочно-эксплуатационных скважин нужно подходить особенно внимательно. Когда по гидрогеологическим условиям скважина должна быть заложена на участке, где водоносный горизонт имеет облегченную связь с поверхностными водами, необходимо вокруг нее создать благоприятную санитарную обстановку.

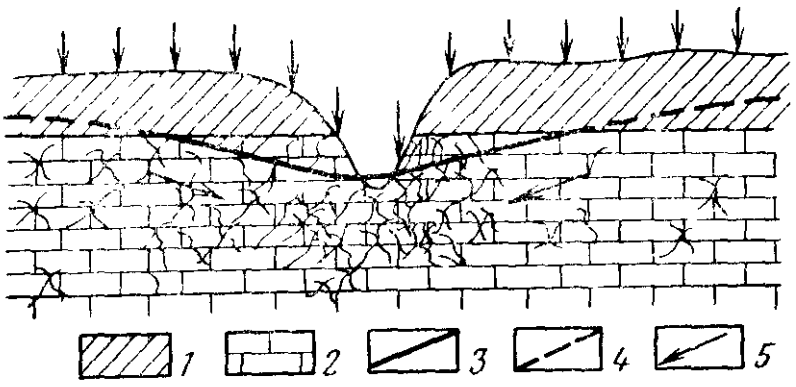



Рис. 24. Условия использования вод закарстованных пород:

*1* — глина; *2* — закарстованные известняки; *3* и *4* — уровни воды в водоносном горизонте; *5* — направление движения воды

Санитарные и гидрогеологические условия иногда не совпадают также и при выборе водоносного горизонта для питания водозаборного сооружения. Чем глубже от поверхности земли залегает водоносный горизонт, тем надежнее он в санитарном отношении, но при увеличении глубины водообильность водоносных горизонтов обычно уменьшается вследствие более затрудненных условий питания и движения в них воды.

Разведочно-эксплуатационные скважины не следует закладывать на производственных территориях промышленных предприятий. Для обеспечения нормальной работы скважин и головных сооружений водопровода необходимо вокруг них создать первый пояс зоны санитарной охраны, иногда занимающий значительную площадь. Выделение такой площади на промышленной территории часто стеснено размещением производственных сооружений, а также мешает строительству новых производственных объектов при развитии предприятия.

Общие санитарные условия на производственных территориях промышленных предприятий обычно неудовлетворительны. Многие заводы и фабрики имеют большое количество жидких и легко растворимых твердых отходов. Из канализационных сетей, находящихся на этих территориях, происходит утечка сточных вод. Кроме того, здесь устраивают другие подземные сооружения, облегчающие проникновение загрязнений в горные породы. Вследствие этого грун-

товые воды на таких территориях бывают загрязнены, содержат кислоты, органические соединения и обладают коррозирующими свойствами. Последние усиливаются вследствие наличия блуждающих электрических токов, вызванных сосредоточением электрических сетей и машин. Это подтверждается данными З. П. Гавшиной [45], обследовавшей состояние грунтовых вод на многих промышленных площадках действующих химических предприятий. В указанных условиях в обсадных трубах водозаборных скважин сравнительно быстро образуются каверны, через которые загрязненные грунтовые воды проникают в скважины. Опыт показывает, что на многих промышленных предприятиях водозаборные скважины выходят из строя через несколько лет, а иногда даже и через несколько месяцев.

Влияние санитарных условий промышленных предприятий на качество подземных вод зависит от профиля предприятия. Лесообрабатывающие заводы, заводы строительных материалов и другие заводы и фабрики, дающие небольшое количество сточных вод и легко растворимых твердых отходов, представляют собою сравнительно небольшой источник загрязнения. Химические заводы, заводы цветной металлургии, текстильные отбельно-красительные фабрики, нефтеперерабатывающие заводы, имеющие большое количество химически активных промышленных сточных вод и иногда большие отвалы легко растворимых твердых отходов, служат мощными источниками загрязнения подземных вод.

Скважины целесообразно иногда размещать в жилых поселках промышленных предприятий или между поселком и площадкой предприятия. Санитарная обстановка в этих местах обычно благоприятнее, и выделить участок для организации первого пояса зоны санитарной охраны здесь легче, чем на территориях расположения промышленных предприятий.

В сельских населенных пунктах разведочно-эксплуатационные скважины также нужно размещать вне производственных территорий колхозов и совхозов, учитывая необходимость организации первого пояса зоны санитарной охраны.

Правильный выбор местоположения разведочно-эксплуатационной скважины имеет большое значение для сохранения надлежащего качества воды и облегчает проведение санитарных охранных мероприятий. Для определения необходимого расстояния между скважиной и источником загрязнения можно использовать уравнения, приведенные в последнем параграфе настоящей главы. Проектируемые разведочно-эксплуатационные скважины, как правило, не следует размещать вниз по потоку грунтовых вод от источников загрязнения.

Как указывалось, санитарная обстановка в населенном пункте во многом определяет надежность водоносного горизонта. По влиянию санитарных условий на качество подземных вод населенные пункты можно подразделить на несколько групп (табл. 17).

Санитарная обстановка в населенных пунктах группы А позволяет использовать подземные воды, находящиеся почти в любых

гидрогеологических условиях, если они по минерализации пригодны для этого. Грунтовые воды здесь вполне удовлетворяют санитарным требованиям, за исключением верховодок и грунтовых вод, залегающих в непосредственной близости от поверхности земли. При использовании подземных вод в этих населенных пунктах необходимо, чтобы скважины были оборудованы, содержались в порядке и в непосредственной близости к ним не были расположены местные источники загрязнения.

В поселках группы Б широко используются грунтовые воды, для этого строят колодцы или неглубокие скважины индивидуального или группового пользования, водозабор которых осуществляется часто ручным способом. Дебиты и радиусы питания таких водозаборных сооружений обычно невелики, но близко залегающие к земной поверхности грунтовые воды здесь иногда бывают загрязнены. Более удовлетворяют в санитарном отношении грунтовые воды, залегающие на глубине 8—10 м и перекрытые сверху слоем глин, хотя бы небольшой мощности. В поселках этой группы часто расположены отдельные учреждения (дома отдыха, санатории, небольшие промышленные предприятия), которые имеют централизованные индивидуальные или групповые водопроводы. Водозаборные сооружения таких водопроводов иногда дают до 20—40 м³/ч воды. Для питания этих водопроводов лучше выбирать артезианские водоносные горизонты, если они имеются; при использовании грун-

*Таблица 17*

**Разделение населенных пунктов по источникам загрязнения**

| Населенные пункты | Характеристика источника загрязнения |
|---|---|
| *Группа А* | |
| Небольшие селения без колхозного производственного центра. Небольшие отдельно стоящие поселки без водопровода и канализации. Небольшие неканализованные лечебные и оздоровительные учреждения (пионерские лагеря, дома отдыха), находящиеся в чистой незаселенной местности | Отдельные небольшие разбросанные местные источники загрязнения (дворовые уборные, помойные ямы, конюшни, скотные сараи, навозные кучи, небольшие скотомогильники и т. д.) |
| *Группа Б* | |
| Дачные, средние рабочие и мелкие городские поселки без центрального | Крупные источники загрязнения обычно отсутствуют. Отдельные небольшие |

| Населенные пункты | Характеристика источника загрязнения |
|---|---|
| водопровода и с местной канализацией | источники загрязнения (дворовые уборные, помойные ямы, местные поглощающие канализационные устройства, разбросанные более или менее равномерно по всей территории поселка) |
| *Группа В* | |
| Селения с колхозным производственным центром. Совхозы и совхозные поселки. Отдельно стоящие крупные лечебные и оздоровительные учреждения с центральным водопроводом и канализацией | Кроме небольших местных, имеются крупные источники загрязнения, занимающие иногда значительные площади (территории хозяйственных и производственных центров, свалки навоза, поля отвода сточных вод, загрязненные открытые водоемы, в которые спускаются канализационные воды) |
| *Группа Г* | |
| Крупные рабочие, городские и курортные поселки с централизованными водопроводами и канализацией | Крупные источники загрязнения (свалки, поля фильтрации или орошения, загрязненный водоем и т. д.) |
| *Группа Д* | |
| Большие промышленные города с одним или несколькими центральными водопроводами, с общей или групповыми канализационными системами | Крупные источники загрязнения на территории города и в его окрестностях (территории промышленных предприятий, большие площади полей фильтрации или орошения, свалки, загрязненные открытые водоемы), наличие поглощающих скважин и других подземных сооружений, облегчающих проникновение поверхностных загрязнений в водоносные горизонты |

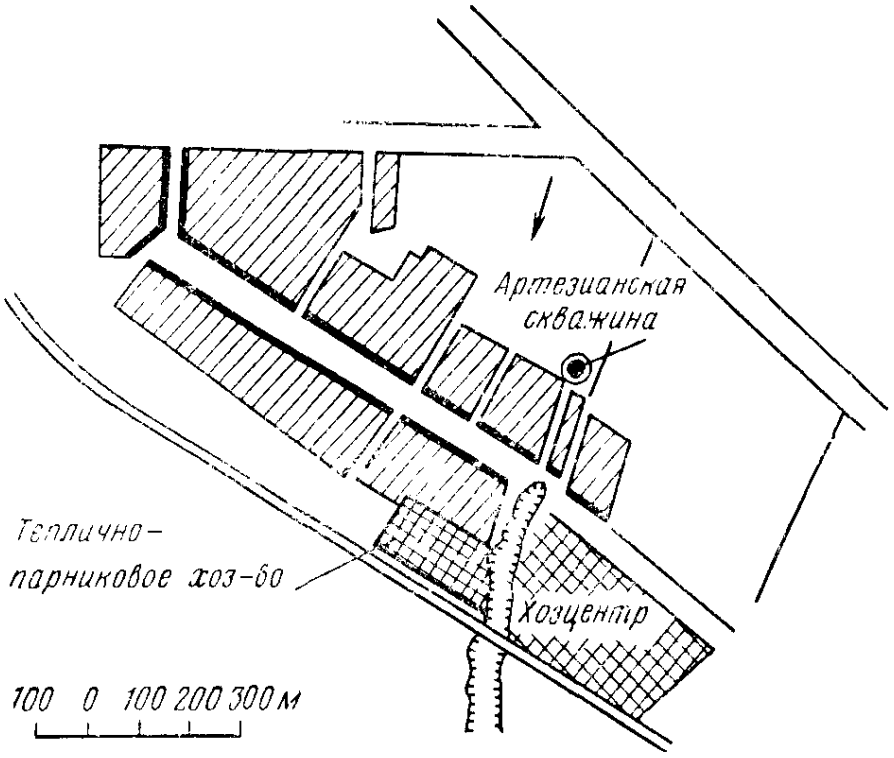



Рис. 25. Правильное расположение артезианской скважины в колхозном поселке (стрелкой показано направление движения подземных вод)

товых вод скважины следует закладывать возможно дальше от источников загрязнения.

В населенных пунктах группы В часто уже нельзя рекомендовать широкое использование грунтовых вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. На территориях хозяйственных и производственных центров колхозов и совхозов, а также вблизи полей фильтрации и орошения и загрязненных открытых водоемов грунтовые воды бывают загрязнены. Водоснабжение таких пунктов и объектов часто централизованное, в качестве источника водоснабжения лучше принимать глубокий водоносный горизонт, перекрытый водоупорными породами. Разведочно-эксплуатационную скважину следует помещать вне загрязненных территорий в стороне или выше их по потоку грунтовых и поверхностных вод (рис. 25, 26).

Водоснабжение населенных пунктов группы Г почти всегда централизованное, имеются один городской или поселковый водопровод и иногда несколько индивидуальных или групповых водопроводов находящихся здесь предприятий. Грунтовые воды в таких населенных пунктах обычно загрязнены. Удовлетворяющими санитарным требованиям следует считать только артезианские воды при отсутствии заброшенных скважин, по которым в водоносный горизонт могут проникать поверхностные загрязнения.

В описываемых населенных пунктах нужно стремиться к созданию единого городского или поселкового хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода. Намечаемые разведочно-эксплуатационные скважины должны быть удалены от мест спуска канализационных вод и промышленных стоков.

При отсутствии артезианских горизонтов, пригодных для водоснабжения, разведочно-эксплуатационные скважины часто закладывают в поймах и на террасах долин рек, где получают грунтовые воды аллювиальных песков. При этом не следует размещать скважины близко к реке, чтобы избежать интенсивного подсасывания загрязненных речных вод. Кроме того, участки, находящиеся по течению реки ниже города или поселка, неблагоприятны для заложения разведочно-эксплуатационных скважин, так как здесь возможно влияние канализационных, промышленных и ливневых стоков на качество вод аллювиальных отложений.

Однако еще имеются случаи, когда для экономии средств на строительство водопровода скважины для хозяйственно-питьевого водоснабжения размещают без учета перспективного развития города и природных условий, определяющих защищенность намеченного к использованию водоносного горизонта.

В Московской области на новой чистой территории проектировались крупное предприятие с большой потребностью в производственной воде и поселок городского типа (рис. 27). Границы промышленной площадки предприятия располагались на расстоянии 1 км к западу от границ поселка. Для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения в этом районе пригодна вода только одного водоносного горизонта, приуроченного к закарстованным известнякам окской свиты нижнего карбона. В верхней части склона, на котором располагается северная часть поселка, окский горизонт покрыт серпуховскими глинами нижнего карбона мощностью 10—20 м, но известняки имеют слабую трещиноватость и водоносный




Рис. 26. Правильное расположение водозаборных скважин на больничной территории (прямые линии — водопроводная сеть; стрелками показано направление движения подземных вод):

*1* — лечебные корпуса; *2* — жилые дома обслуживающего персонала; *3* — хозяйственный двор; *4* — водозаборные скважины; *5* — водонапорная башня

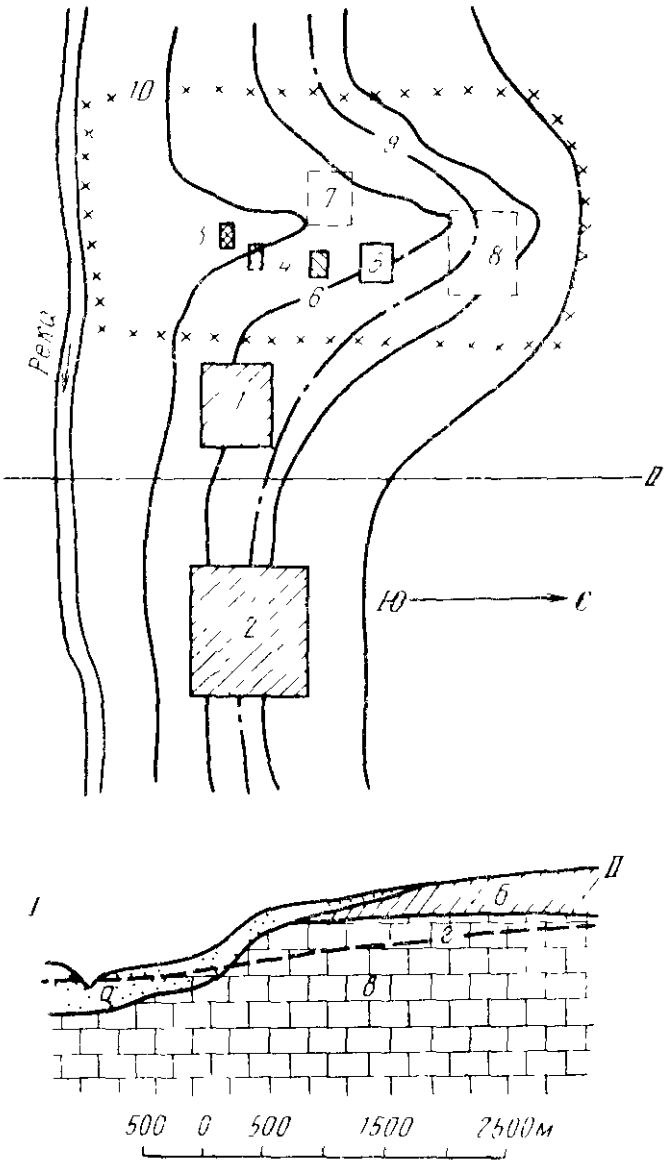



Рис. 27. Расположение подземного водозабора и санитарная обстановка в строящемся крупном поселке (городского типа):

*1* — территория основного предприятия; *2* — территория основного поселка; *3* — подземный водозабор производственного и хозяйственно-питьевого водоснабжения; *4*—овощехранилище; *15* — поселок строителей; *6* — свиноферма; *7* — проектируемая больница; *8* — выбранная площадка для нового промышленного предприятия; *9* — южная граница распространения серпуховских глин нижнего карбона; *10* —граница второго пояса зоны санитарной охраны подземного водозабора:

*а* — четвертичные аллювиальные пески; *б* — серпуховские глины нижнего карбона; *в* — окские известняки нижнего карбона; *г* — уровень подземных вод

горизонт небольшую водообильность. В нижней же части склона непосредственно на окском горизонте залегают обводненные аллювиальные пески, наблюдается повышенная трещиноватость и закарстованность известняков, а также большая водообильность водоносного горизонта.

Первоначально намечалось устроить раздельное водоснабжение. Для производственных целей были пробурены скважины в 1 км к западу от промышленной площадки в пониженной части большого оврага с пологими склонами, где окские известняки выходят на поверхность земли. Удельные дебиты скважин на этом участке достигают 80—100 м³/ч. Скважины же хозяйственно-питьевого водопровода проектировалось разместить на территории поселка. Однако в дальнейшем для уменьшения капитальных затрат хозяйственно-питьевой водозабор совместили с производственным. Для обеспечения надлежащего качества воды в окружении подземного водозабора был установлен второй пояс зоны санитарной охраны, охватывающий большую территорию оврага. Здесь предусматривалось сохранение леса и запрещение строительства промышленных и гражданских сооружений. Однако оказалось, что местность, прилегающая к предприятию и поселку, имеет большой хозяйственный интерес и сохранить здесь лес не удалось.

В овраге выше подземного водозабора на расстоянии 0,3 км было устроено крупное овощехранилище, а в 1—1,5 км — неблагоустроенный поселок строителей и свиноферма. Вследствие изменения санитарной обстановки ухудшился бактериальный состав воды в водозаборных скважинах. Кроме того, возник вопрос о размещении

в пределах оврага крупной больницы и большого промышленного предприятия, но установленный санитарный режим второго пояса зоны санитарной охраны явился препятствием. В связи с этим для организации нового подземного водозабора хозяйственно-питьевого водоснабжения этого быстрорастущего населенного пункта приходится вести гидрогеологические изыскания.

Приведенный пример показывает, что не всегда видимая экономия средств при выборе расположения подземного водозабора в дальнейшем оправдывает себя и является целесообразной.

Весьма сложная санитарная обстановка в городах группы Д. Наличие крупных источников загрязнения, занимающих большие площади, обусловливает заметные изменения качества подземных вод, залегающих не только сравнительно близко от поверхности земли, но часто и в глубоких артезианских водоносных горизонтах. Здесь так же, как и в населенных пунктах группы Г, наиболее опасны для загрязнения подземных вод территории промышленных предприятий и места выпуска сточных вод, но влияние их на качество подземных вод еще более заметно. Проникновение поверхностных загрязнений в водоносные горизонты облегчается наличием недействующих заброшенных скважин, а также устройством других подземных сооружений — разведочных скважин, котлованов, шахт, тоннелей и пр.

Вследствие интенсивной эксплуатации подземных вод в таких городах создается большая и глубокая районная депрессия их уровня. В результате увеличивается подсасывание действующими водозаборными скважинами загрязненных поверхностных и грунтовых воду.

В описанных условиях использование подземных вод, даже глубоких артезианских, должно осуществляться при гидрогеологическом и санитарном надзоре. Следует учитывать, что в больших городах загрязнение подземных вод иногда распространяется на значительные расстояния. Как и в городах группы Г, разведочно-эксплуатационные скважины не следует бурить на производственных территориях промышленных предприятий и в районах, где расположены свалки и сооружения для спуска сточных вод. Наиболее благоприятные места для заложения скважин — парковые участки.

В качестве примера можно привести условия водоснабжения одного крупного города, в котором воду получают из трех водоносных горизонтов, приуроченных к известнякам каменноугольного возраста (рис. 28). Нижний водоносный горизонт залегает на глубине 90—120 м от поверхности земли и перекрыт выдержанной толщей глин мощностью около 15 м. Однако этот водоносный горизонт характеризуется сравнительно небольшим водообилием и вода в нем содержит повышенное количество фтора (до 3 мг/л).

Средний и верхний водоносные горизонты обычно используют совместно. Дебиты скважин на отдельных участках достигают 200—250 м$^3$/ч. Эти участки приурочены к центральной и восточной частям города, а также к пониженным местам долины небольшой реки,

пересекающей город в широтном направлении. Скважины, находящиеся в западной и южных частях города, заложенные на указанные водоносные горизонты, характеризуются небольшой водообильностью. Природное качество воды в указанных водоносных горизонтах удовлетворительное, содержание фтора в смешанной воде из обоих горизонтов составляет около 1 мг/л. Однако эти водоносные горизонты плохо защищены от проникновения в них поверхностных загрязнений, в воде некоторых скважин за период их эксплуатации (около 40 лет) наблюдается постепенное увеличение количества хлоридов от 5—10 до 80 мг/л. Количество хлоридов, а также некоторых других компонентов продолжает увеличиваться и в настоящее время. Скважины, дающие воду нестабильного химического состава, находятся в восточной части города, где расположены крупные промышленные предприятия.

В связи с расширением водоснабжения появилась необходимость в бурении новых водозаборных скважин. Учитывая, что в восточной части города водоносные горизонты подверглись поверхностному загрязнению, а в центральной части города уже имеется ряд мощных водозаборных скважин, в результате работы которых создалась глубокая районная депрессионная воронка, новые скважины решено заложить в пониженных местах долины реки, выше города, по течению этой реки (рис. 29). Но так как здесь водоносные горизонты плохо защищены от поверхностных загрязнений, то вдоль по долине реки для санитарной охраны подземных вод намечается создать парковую зону и провести ряд других санитарных мероприятий (отвод ливневых вод, запрещение строительства промышленных и жилых зданий и т. д.).

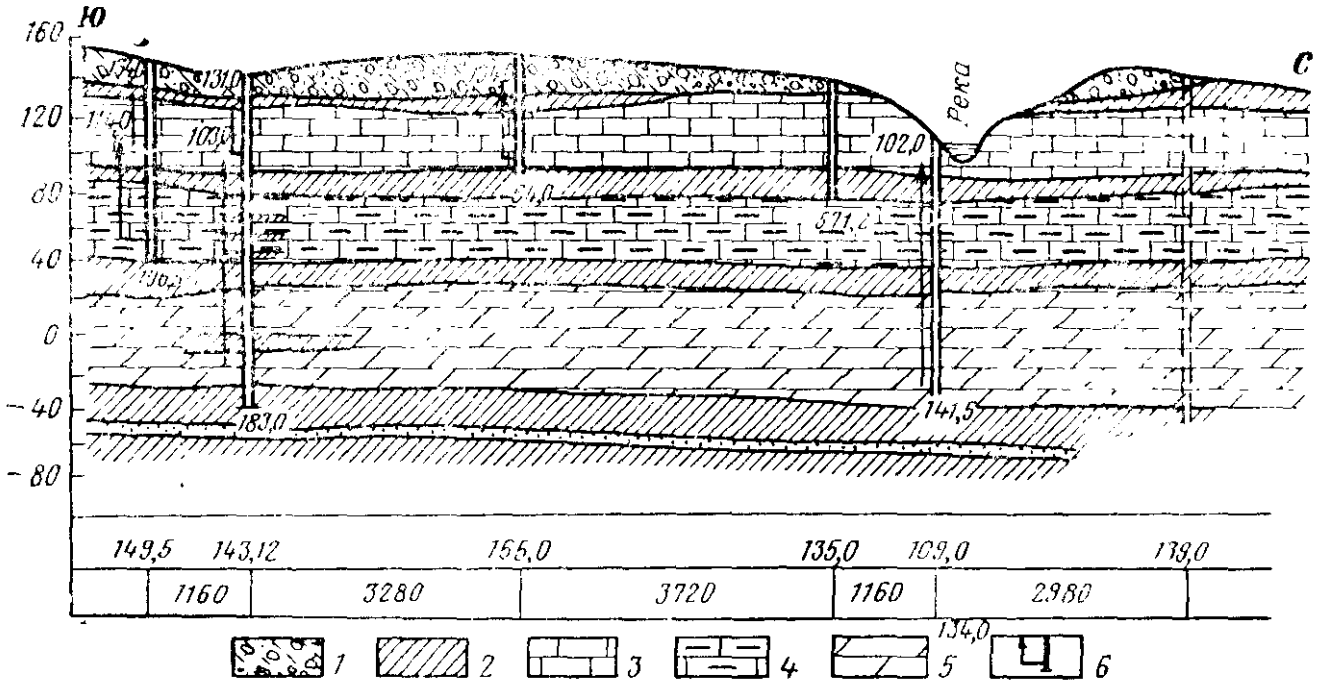



Рис. 28 Геолого-гидрогеологический разрез территории крупного промышленного города:

*1* — четвертичные суглинки и пески; *2* — глины коренные; *3* — водоносные известняки верхнего горизонта; *4* — водоносные известняки среднего горизонта; *5* — водоносные известняки нижнего горизонта; *6* — статические уровни воды в скважинах

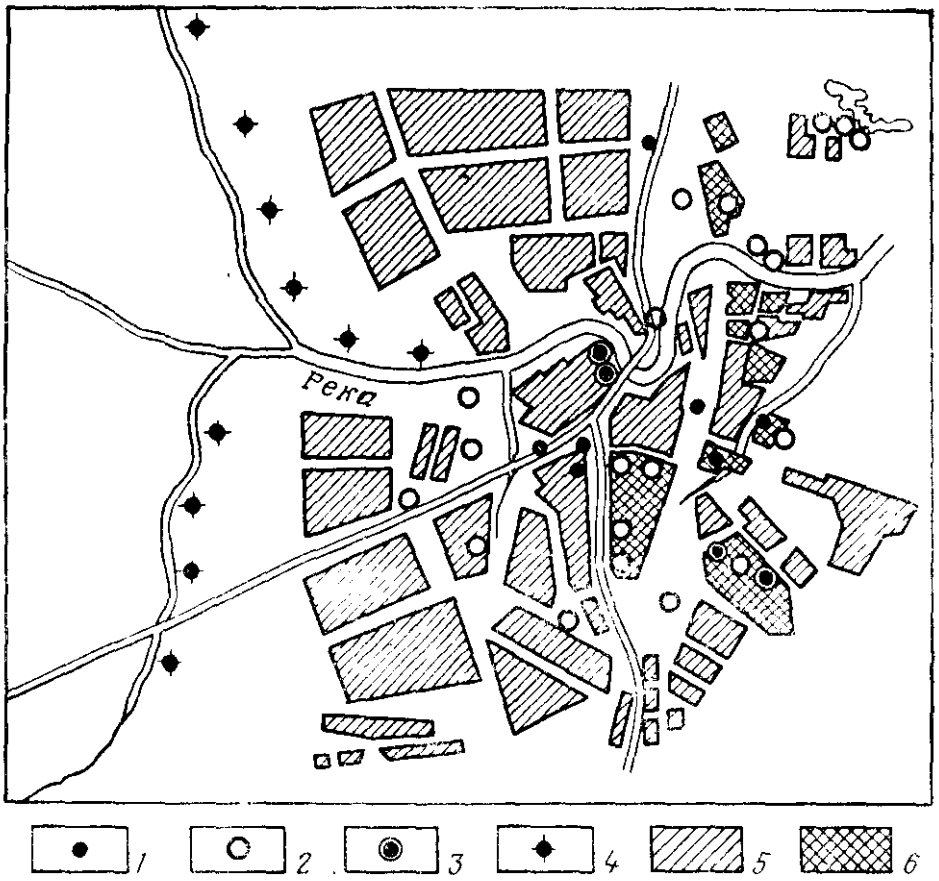



Рис. 29. **Размещение** водозаборных скважин в крупном промышленном городе:

*1* — скважины, питающиеся водами верхнего горизонта; *2* — скважины, питающиеся водами верхнего и среднего горизонта; *3* — скважины, питающиеся водами нижнего горизонта; *4* — проектируемые городские скважины; *5* — жилые кварталы; *6* — территории промышленных предприятий

Из приведенного материала видно, что выбор местоположения разведочно-эксплуатационной скважины — ответственная стадия проектирования. Положение скважины определяет размещение водопроводных головных сооружений и развитие водопроводных сетей, и если в дальнейшем окажется, что скважина заложена неправильно, то для бурения новой скважины могут потребоваться большие дополнительные затраты по реконструкции всего водопроводного хозяйства.

## § 3. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ИХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Зоны санитарной охраны источников водоснабжения устанавливаются для исключения или возможного ослабления влияния поверхностных загрязнений на качество подземных вод. Согласно ряду постановлений государственных законодательных и исполнительных органов санитарная охрана подземных источников водоснабжения в Советском Союзе является обязательной (Постановления Совета Министров СССР от 4 сентября 1959 г. за № 1036 «Об усилении государственного контроля за использованием подземных вод и о мероприятиях по их охране» и от 22 апреля 1960 г. за № 425

«О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР»). Общие положения для составления проектов зон санитарной охраны для подземных источников водоснабжения даны в специальной Инструкции, утвержденной 7 июля 1956 г. за № 219—56 Государственной санитарной инспекцией СССР (Инструкция по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водопроводов с подземными источниками водоснабжения).

На основании указанной Инструкции зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения должны состоять из двух поясов.

В первом поясе зоны (пояс строгого режима) проводятся мероприятия, ограждающие водозаборное устройство (скважину, колодец, каптаж и т. д.) и головные водопроводные сооружения от проникновения в них поверхностных загрязнений.

Во втором поясе (пояс ограничений) ограничивается хозяйственно-бытовая и производственная деятельность людей, которая может повлечь за собой ухудшение качества воды в водоносном горизонте, используемом для питания водозаборного сооружения.

Проект зоны санитарной охраны состоит из следующих разделов.

1. Введение.
2. Краткая характеристика населенного пункта или объекта (планировка, жилой фонд, промышленные предприятия и т. д.), рельефа и гидрографии.
3. Описание водопроводных сооружений, канализации и очистки.
4. Характеристика источников загрязнения подземных вод с указанием их местоположения.
5. Сведения о заболеваемости водными инфекциями за последние годы; наличие групповых заболеваний.
6. Общая санитарная оценка населенного пункта или объекта.
7. Краткий гидрогеологический очерк района.
8. Геолого-техническое описание водозаборных скважин и колодцев.
9. Санитарная оценка гидрогеологических условий района, обоснование границ поясов зоны и рекомендация основных охранных мероприятий.

К проекту прилагают следующие материалы.

1. Проект решения районного или городского Исполнительного комитета депутатов трудящихся об установлении зоны санитарной охраны источника водоснабжения.
2. Проект решения областного Исполнительного комитета депутатов трудящихся об утверждении решения районного или городского Исполнительного комитета.
3. Перечень мероприятий в поясах зоны санитарной охраны.
4. Общий план района, населенного пункта или объекта с нанесением границ второго пояса зоны, а также водозаборных скважин.
5. План населенного пункта или объекта с нанесением водопроводных и канализационных сооружений и других источников загрязнения, а также границ второго и первого поясов зоны.

6. Планы участков расположения водозаборных скважин в крупном масштабе с нанесением границ первых поясов зоны.

7. Планы насосных станций и основных головных водопроводных сооружений.

8. Геолого-гидрогеологические разрезы, необходимые для характеристики гидрогеологических условий района.

9. Геолого-технические разрезы существующих и проектируемых водозаборных скважин и колодцев.

10. Данные химических и бактериологических анализов воды.

Проекты зон санитарной охраны согласовываются с органами Государственного санитарного надзора.

Величину первого пояса зоны устанавливают исходя из санитарных соображений. Для первого пояса нужна площадь, которая необходима для ограждения водозаборов и головных сооружений водопровода от непосредственного попадания в них поверхностных и грунтовых вод, а также загрязнений, обусловленных деятельностью людей. Обычно первый пояс для водозаборной скважины занимает площадь диаметром 60—100 м в зависимости от защищенности водоносного горизонта, мощности водозабора и величины территории, занятой сооружениями насосной станции. Но когда водоносный горизонт очень плохо защищен от поверхностных загрязнений (при использовании грунтовых вод, зеркало которых находится близко к поверхности земли), возникает необходимость большего удаления границ этого пояса от водозаборных сооружений. Кроме того, при определении размера первого пояса зоны вокруг одиночной разведочно-эксплуатационной скважины необходимо учитывать, что в дальнейшем часто требуется в пределах этого пояса заложить вторую скважину в связи с увеличением потребности в воде или для создания резервного водозаборного сооружения.

Установление положения границ второго пояса зоны является сложным гидрогеологическим и санитарным вопросом. Хотя уравнения гидродинамики позволяют определить контуры области питания подземных водозаборов и время движения воды от выбранной точки до водозабора, но для расчетов требуются данные, характеризующие водные свойства пород и динамику движения воды в водоносном горизонте. Получение этих данных связано с необходимостью проведения большого объема полевых гидрогеологических исследований, но это большей частью невозможно при проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин. Исходя из сказанного, расчеты по гидрогеологическому обоснованию положения границ второго пояса, обычно основанные на сильно схематизированных природных условиях, дают весьма ориентировочные результаты.

Одним из основных затруднений использования санитарных показателей для установления границ второго пояса является изменение санитарной обстановки местности в окружении подземного водозабора. Эти изменения происходят в результате развития населенного пункта, промышленного предприятия и их не всегда можно предвидеть. Режим второго пояса зоны санитарной охраны до

некоторой степени ограничивает хозяйственное использование его территории, в связи с чем часто возникают противоречия между санитарными мероприятиями по охране подземных источников водоснабжения и интересами экономического развития данной территории. Это всегда следует учитывать при выборе расположения проектируемого подземного водозабора. Иногда подземный водозабор следует расположить несколько дальше от мест потребления воды, чтобы в дальнейшем не встретить затруднения при включении необходимой территории во второй пояс зоны санитарной охраны.

При установлении границ второго пояса следует выяснить возможные пути загрязнения подземных вод, идущих на питание водозаборного сооружения. Однако при проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин этот вопрос часто решить трудно. В отличие от проектирования крупных групповых подземных водозаборов при проектировании одиночных скважин обычно отсутствуют фактические данные об условиях питания, движения и дренирования подземных вод в данном районе, а также о характере взаимосвязи между отдельными водоносными горизонтами и полученные при детальных гидрогеологических изысканиях. Иногда проекты зон санитарной охраны и гидрогеологическое обоснование их составляют после бурения одиночной разведочно-эксплуатационной скважины, тогда данные бурения и опробования этой скважины несколько помогают решить поставленную задачу.

Но когда проект зоны санитарной охраны включают в проект самой скважины до ее бурения, то для гидрогеологического обоснования этой зоны приходится использовать лишь общие гидрогеологические материалы.

В зависимости от гидрогеологических условий (см. рис. 23) следует применять различные методы гидрогеологического обоснования границ второго пояса зоны для одиночных скважин.

### Использование грунтовых вод рыхлых песчаных пород

Особенность рыхлых песчаных пород — относительное постоянство водных свойств в пределах пласта. Поэтому, если имеются хотя бы ориентировочные данные о водопроницаемости, активной пористости песков и мощности водоносного горизонта, то для определения положения границ второго пояса можно использовать уравнения, основанные на законах динамики подземных вод. Полученные по этим уравнениям величины и другие санитарные и гидрогеологические данные позволяют обосновать границы второго пояса зоны.

Если проектируемая разведочно-эксплуатационная скважина располагается на местности, где отсутствуют и в дальнейшем не предполагается возникновение источников химического загрязнения подземных вод, то основным гидрогеологическим критерием для установления границ второго пояса зоны является время движения

воды, питающей эту скважину. При опасности только бактериального загрязнения продолжительность выживаемости бактерий в подземных водах можно условно принять равной 400 сут. Исходя из этой величины и в зависимости от условий питания скважины по уравнениям, приведенным в следующем параграфе, ориентировочно определяется положение границ второго пояса.

Однако необходимо отметить, что в настоящее время даже в сельской местности не всегда можно для установления границ второго пояса зоны исходить из условия защиты водозаборного сооружения только от бактериальных загрязнений. В связи с широким применением в сельском хозяйстве органических и минеральных удобрений, а также ядохимикатов имеются много случаев повышения в грунтовых водах содержания нитратов и даже появления высокотоксичных веществ.

Когда проектируемая разведочно-эксплуатационная скважина размещается в районе, где имеются или намечаются объекты возможного загрязнения подземных вод устойчивыми химическими веществами, границы второго пояса должны устанавливаться не ближе контуров области питания этой скважины или так называемых нейтральных линий.

Величины, полученные гидродинамическими расчетами, уточняются по материалам изучения общих гидрогеологических и санитарных условий района расположения скважины.

В пределах второго пояса зоны санитарной охраны при использовании грунтовых вод рыхлых осадочных пород следует предусматривать следующие санитарные охранные мероприятия:

1) отвод с территории второго пояса сточных промышленных и хозяйственно-бытовых вод устройством канализации, при наличии же дворовых уборных и помойных ям — устройство водонепроницаемых выгребов;

2) запрещение устройства полей фильтрации, а также поглощающих колодцев и других подземных поглощающих сооружений;

3) запрещение загрязнения имеющихся на территории второго пояса открытых водоемов, а также устройства свалок;

4) запрещение без согласования с органами Госсаннадзора устройства карьеров и других горных и строительных выработок, нарушающих сток поверхностных вод и облегчающих проникновение поверхностных загрязнений в водоносный горизонт;

5) общее благоустройство территории.

### Использование грунтовых вод трещиноватых скальных пород

Использование гидродинамического метода для обоснования границ второго пояса зоны санитарной охраны водозаборных скважин, питающихся водами трещиноватых пород, возможно, если имеется уверенность, что трещиноватость этих пород равномерная и водонепроницаемость их мало меняется в районе водозаборного сооружения.

Кроме того, нужно хотя бы ориентировочно знать величины коэффициента фильтрации и активной пористости (трещиноватости) водоносных пород.

Однако часто трещины в скальных породах распространены неравномерно, поэтому водопроницаемость и пористость пород резко меняются в различных направлениях и на небольших расстояниях. В этих условиях депрессионные воронки уже не имеют правильной овальной формы, а вытянуты в одном из направлений. Так, например, в дислоцированных скальных породах часто длина депрессионных воронок в несколько десятков и даже сотен раз превышает их ширину.

Таким образом, при использовании вод трещиноватых скальных пород гидрогеологическое обоснование границ второго пояса зон санитарной охраны должно быть иное, чем при использовании вод рыхлых осадочных пород. Основное внимание следует обратить на анализ имеющихся общих геологических и гидрогеологических материалов, а также на учет опыта эксплуатации существующих в районе подземных водозаборов. Это дает возможность выяснить общий характер питания и движения подземных вод в водоносном горизонте и дать гидрогеологическое обоснование положения границ второго пояса зоны. Общих рекомендаций для рассматриваемых случаев сделать нельзя, в каждом объекте исследования должны быть найдены свои решения в зависимости от местной обстановки. Ниже приводятся примеры гидрогеологического обоснования границ вторых поясов зон санитарной охраны источников водоснабжения, питающихся грунтовыми водами трещиноватых скальных пород.

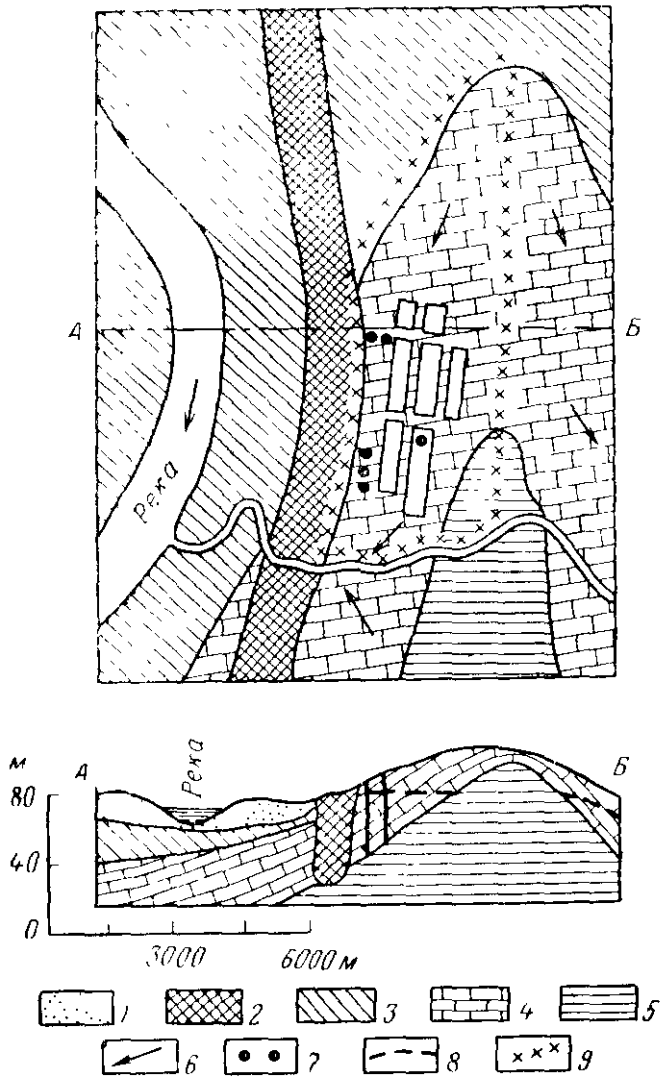



Рис. 30. Положение границ второго пояса зоны санитарной охраны подземного источника водоснабжения в крупном промышленном городе:

*1* — современные аллювиальные отложения; *2* — третичные отложения, заполняющие древний размыв реки; *3*—казанские отложения верхней перми (преимущественно водоупорные); *4*—водоносные известняки нижней перми; *5*—глины и мергели нижней перми; *6*—основное направление движения подземных вод; *7* — водозаборные скважины; *8* — статический уровень подземной воды; *9* — границы второго пояса зоны санитарной охраны

**Пример 1.** В крупном промышленном городе водозаборные скважины питаются грунтовыми водами трещиноватых известняков нижней перми.

Они подстилаются относительно водоупорной толщей того же возраста, сложенной глинами и мергелями; породы образуют здесь пологие складки (рис. 30). Территория жилой части города, где находятся водозаборные скважины, расположена на западном крыле антиклинальной складки, в своде которой поверхность кровли глин и мергелей нижележащей толщи поднимается выше уровня грунтовых вод. К западу подземные воды территории города отделены водоупорными третичными породами (глинами и суглинками), заполняющими древний глубокий промыв долины большой реки; грунтовые воды движутся здесь с севера на юг к долине небольшой речки, впадающей в основную реку.

К северу от города шарниры складок погружаются, и водоносные известняки уходят под мощную толщу более молодых казанских отложений, представленных преимущественно водоупорными породами.

Исходя из сказанного для второго пояса зоны подземных источников водоснабжения города можно установить границы: восточную — по шарниру антиклинальной складки; южную — по подошве правого склона долины речки, которая дренирует подземные воды; западную — вдоль восточной границы древнего промыва, заполненного третичными водоупорными породами; северную — вдоль контакта известняков с казанскими отложениями.

Промышленные предприятия были расположены к западу от жилой территории города, за древним промывом долины реки и не оказывали влияния на качество воды в водозаборных скважинах. Но при развитии промышленности в городе не были учтены гидрогеологические условия и санитарные соображения. Новые крупные химические предприятия разместили к северу от города, выше по потоку подземных вод, на известняках, южнее контакта с казанскими отложениями. Загрязнение промышленных площадок и окружающих участков вследствие утечек из производственных канализационных сетей и других причин привело к тому, что в воде почти всех водозаборных скважин города появился запах фенола, а в некоторых скважинах временами содержалось до 0,035 мг/л анилина. В настоящее время водозаборные скважины, расположенные в жилой части города, приходится отключать от хозяйственно-питьевого водопровода и пользоваться подземными водами из удаленных участков.

**Пример 2.** Населенный пункт и водозаборные скважины расположены в излучине реки и находятся на поверхности эрозионной террасы долины этой реки. Терраса сложена трещиноватыми водоносными известняками среднего карбона, которые покрыты четвертичными отложениями, состоящими из покровных суглинков и древнеаллювиальных песков общей мощностью 5—8 м (рис. 31). Грунтовые воды известняков, которыми питаются водозаборные скважины, дренируются рекой. Водозаборные скважины расположены на расстоянии 1,5—2,0 км от берега реки, и динамически уровень воды в них находится выше уровня паводковых речных вод.

К западу от населенного пункта на расстоянии около 0,5 км проходит подошва коренного склона долины, сложенного моренными глинами, мощность которых достигает 30 м. Эта толща глин защищает водоносный горизонт от поверхностных загрязнений.

В описанных условиях западная граница пояса может быть проведена вдоль бровки коренного склона долины, а северная, восточная и южная — по берегу реки.

**Пример 3.** В населенном пункте, находящемся на восточном склоне Северного Урала, водозаборная скважина питается водами известняков среднего карбона, имеющих меридиональное простирание и крутое падение. К западу от скважины на расстоянии 0,5 км проходит контакт со слабоводопроницаемыми верхнедевонскими зеленокаменными породами, а к востоку на расстоянии 1 км распространена толща, состоящая из глинистых известняков и мергелей с прослоями глин верхнего карбона (рис. 32). На юге на расстоянии 0,7 км от скважины протекает небольшая речка, дренирующая воды известняков. К северу местность несколько поднимается на расстоянии 1,5 км от скважины, а затем понижается в сторону другой более крупной реки. Учитывая указанные условия, западную и восточную границы второго пояса зоны для этого источника водоснабжения можно провести соответственно по контактам известняков с зеленокаменными породами и с толщей, состоящей из глинистых известняков и мерге-

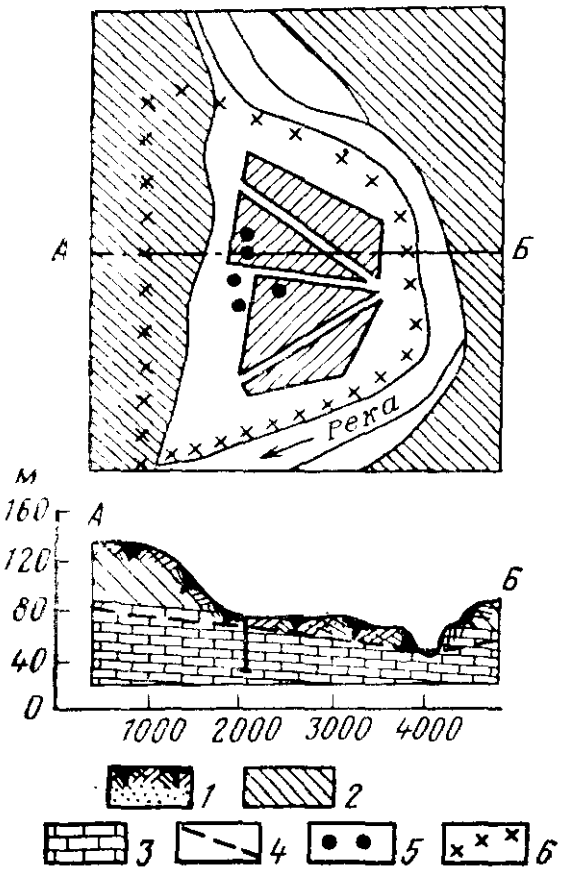



Рис. 31. Положение границ второго пояса зоны санитарной охраны подземного источника водоснабжения в поселке, расположенном на террасе долины реки:

*1* — покровные суглинки и аллювиальные пески; *2* — четвертичные моренные глины; *3* — водоносные известняки среднего карбона; *4* — статический уровень подземных вод; *5* — водозаборные скважины; *6* — границы второго пояса зоны санитарной охраны

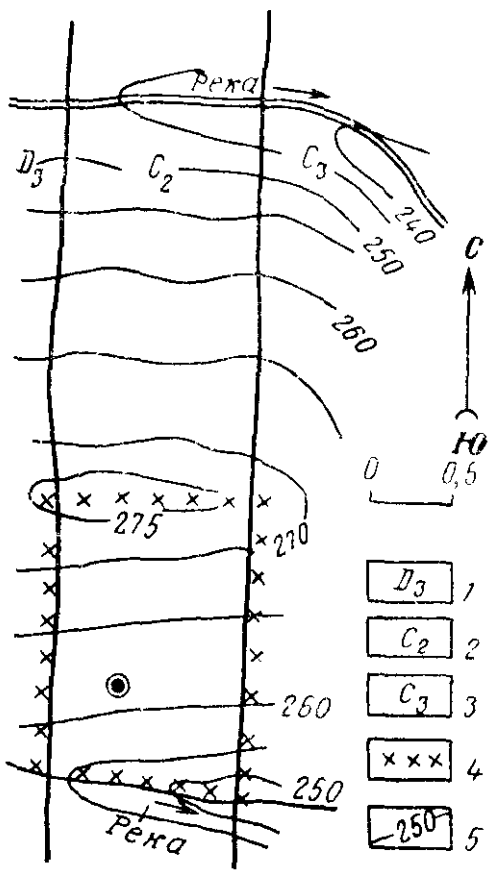



Рис. 32. Положение границ второго пояса зоны санитарной охраны источника водоснабжения поселка:

*1* — площадь распространения слабопроницаемых зеленокаменных пород верхнего девона; *2* — площадь распространения водоносных известняков среднего карбона; *3* — площадь распространения слабопроницаемых мергелей и глинистых известняков верхнего карбона; *4* — границы второго пояса зоны санитарной охраны; *5* — горизонтали поверхности земли

лей с прослоями глин; южную — по берегу небольшой речки; северную — по перегибу местности, отмечаемому на расстоянии 1,5 км к северу от скважины.

Границы второго пояса зоны, устанавливаемой для водозаборов, питающихся грунтовыми водами, часто можно проводить по расположению водораздельных линий рельефа поверхности земли. Это обусловлено тем, что зеркало грунтовых вод обычно в сглаженной форме повторяет рельеф поверхности земли, вследствие чего, как указывалось ранее, водораздельные линии этих поверхностей примерно совпадают друг с другом. Исключение составляют некоторые участки, находящиеся в горных областях с сильно расчлененным современным рельефом.

Когда используются грунтовые воды трещиноватых пород, то во втором поясе зоны проводятся такие же санитарные мероприятия, как при получении грунтовых вод рыхлых осадочных пород.

При обосновании границ второго пояса зон санитарной охраны проектируемых разведочно-эксплуатационных скважин, как правило, отсутствуют данные о направлении и величине уклона поверхности пьезометрического уровня. Также не известны размеры и форма депрессионной воронки, возникающей от работы скважины. Кроме того, породы, вмещающие артезианские воды, недоступны для непосредственного наблюдения, поэтому сведения о их составе и условиях залегания весьма ограничены.

Когда водовмещающими породами являются пески, для обоснования границы второго пояса часто можно воспользоваться гидродинамическими методами, изложенными ниже. Если же водоносными являются трещиноватые породы, то гидродинамические расчеты применить часто не удается, поэтому границы второго пояса следует устанавливать, исходя из следующих соображений.

1. Районы питания артезианских скважин часто имеют большие радиусы, измеряемые даже десятками километров, поэтому они не могут служить критерием для установления размера второго пояса.

2. Поверхностные загрязнения, проникающие в артезианские водоносные горизонты трещиноватых пород, могут распространяться на значительные расстояния. Имеются данные, показывающие, что в районе одного крупного источника загрязнения изменение химического состава воды в артезианском водоносном горизонте обнаруживается на расстоянии 10 км. Отмечен случай заражения болезнетворными бактериями воды артезианской скважины загрязненными поверхностными водами, проникшими в водоносный горизонт трещиноватых известняков через заброшенную скважину, которая находилась на расстоянии около 200 м от действующей.

3. Влияние источника загрязнения значительно ослабляется при увеличении расстояния его от водозаборной скважины; ориентировочно можно принять, что это влияние находится в обратной зависимости от квадрата величины указанного расстояния.

4. Когда в населенном пункте для водоснабжения используются артезианские воды, то очень часто это осуществляется не одной, а несколькими водозаборными скважинами, заложенными в различных точках, и второй пояс зоны должен быть общим для всех скважин. В густонаселенных районах, в которых широко используются подземные воды, второй пояс зоны иногда следует организовать общим для нескольких близко расположенных поселков или других объектов водоснабжения.

Исходя из сказанного, во второй пояс зоны санитарной охраны источников водоснабжения, питающихся водами артезианских водоносных горизонтов, обычно целесообразно включать всю площадь населенного пункта, а также прилегающие к нему территории промышленных и хозяйственных предприятий, и площадь, подлежащую застройке по генеральному плану, т. е. площадь, представляющую

собой единое целое в экономическом, хозяйственном и административном отношении. Это обычно дает возможность удалить границы второго пояса на значительные расстояния от артезианских скважин. Однако в зависимости от местных гидрогеологических и санитарных условий, а также от расположения и производительности водозаборных скважин бывает необходимо во второй пояс зоны включать дополнительные территории, не входящие в границы населенного пункта.

Если скважина находится в небольшом населенном пункте или в отдельно стоящем объекте (доме отдыха, пионерском лагере, животноводческой ферме или небольшом промышленном предприятии), то во второй пояс зоны нужно включать и местность, не входящую в территорию этого населенного пункта или объекта, так чтобы границы второго пояса проходили не ближе 300 м от артезианской скважины. Эта величина условная и должна уточняться, исходя из санитарных условий окружения скважины.

Выше рассматривались примеры, когда артезианские скважины находятся в районе питания водоносного горизонта. Если скважины расположены в районе дренирования водоносного горизонта, то артезианская вода не загрязнится с поверхности земли. Однако, как указывалось, это действительно только до тех пор, пока динамические уровни воды в скважинах находятся выше поверхности земли или уровня грунтовых вод. Поэтому уменьшать размеры второго пояса и в этих случаях не следует.

Основные санитарные мероприятия во втором поясе зоны санитарной охраны артезианских источников водоснабжения следующие:

1. Сокращение количества водозаборных скважин в населенном пункте за счет увеличения их дебита, если это возможно по гидрогеологическим условиям. По санитарным, а также по технико-экономическим соображениям в населенном пункте лучше иметь меньше водозаборных скважин. Как показывает опыт, при большом их количестве увеличиваются эксплуатационные расходы и сложнее обеспечить надлежащее санитарно-техническое состояние скважин и насосных станций. Например, в некоторых поселках Московской, Ленинградской и других областей имеется по несколько, а иногда даже по несколько десятков действующих водозаборных скважин, каждая из которых дает всего десятки кубических метров в сутки воды для отдельных санаториев, домов отдыха, небольших промышленных предприятий и т. д. Скважины оборудованы маломощными насосами и часто имеют неудовлетворительное санитарно-техническое состояние. Общепоселковых водопроводов в этих поселках нет, существующие водопроводные сети ограничиваются обычно территорией отдельного объекта. Поэтому, несмотря на большое количество водозаборных скважин, население вынуждено пользоваться водой из шахтных колодцев, которые не всегда имеют удовлетворительное санитарное состояние и окружение. Для нормального же централизованного водоснабжения населения каждого поселка, включая все расположенные в нем объекты, достаточно было иметь всего 2—4 мощные водозаборные скважины.

2. Размещение водозаборных скважин, как правило, вне производственных территорий промышленных предприятий и сельских хозяйств, так как на этих территориях, как правило, трудно создать вокруг скважины условия, отвечающие санитарным требованиям.

3. Запрещение устройства поглощающих скважин для удаления промышленных сточных, промысловых и дренажных вод не только в водоносный горизонт, используемый для водоснабжения, но и в водоносные горизонты, залегающие выше и ниже его. Необходимо учитывать, что даже при наличии надежных достаточно мощных толщ глинистых пород, изолирующих водоносный горизонт, используемый для водоснабжения, загрязнения в него могут проникать по затрубным пространствам поглощающих скважин, а также через каверны в их обсадных трубах. При удалении сточных, обычно химически агрессивных вод каверны в обсадных трубах поглощающих скважин могут образовываться в течение непродолжительного времени.

4. Ликвидация недействующих водозаборных скважин, а также скважин другого назначения тщательным их тампонированием.

5. Общее благоустройство территории (планировка, организация поверхностного стока, канализация, отвод промышленных сточных вод и т. д.). Санитарно-техническое наблюдение за работой артезианских скважин, и систематический контроль за качеством воды.

При определении местоположения границ второго пояса как для артезианских скважин, так и для скважин, питающихся грунтовыми водами, не следует исходить только из гидрологических данных и проводить их по геометрическим линиям (например, в виде окружности, квадрата или правильного многоугольника). Лучше, когда границы второго пояса, примерно совпадающие с границами, определенными по гидрогеологическим соображениям, приурочиваются к линиям, хорошо обозначенным на местности (например, проводить их по рекам или дорогам, границам населенных пунктов или границам административного значения и т. д.). Это позволяет более четко установить на местности границы второго пояса, что облегчает организацию санитарных охранных мероприятий и контроль за ними.

## § 4. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ САНИТАРНОГО ОБОСНОВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИНЫ И ГРАНИЦ ВТОРОГО ПОЯСА ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Для определения местоположения разведочно-эксплуатационной скважины и гидрогеологического обоснования границ второго пояса зоны санитарной охраны могут использоваться известные решения различных гидродинамических схем, применяемые в зависимости от условий питания скважины и характера источника загрязнения.

Когда действительная скорость воды в естественном неограниченном и однородном подземном потоке, питающем водозаборную скважину, невелика (<0,01 м/сут), то зависимость между расстоянием и временем движения воды от выбранной точки потока до действующей скважины может быть выражена уравнением [1]

$$R_x = \sqrt{\frac{Qt}{\pi H \mu}}, \qquad \text{(VII.1)}$$

где $R_x$ — расстояние от выбранной точки потока до действующей водозаборной скважины в м; $t$ — время движения воды от этой точки до скважины в сут; $Q$ — дебит скважины в м³/сут; $H$ — мощность водоносного горизонта в м; $\mu$ — активная пористость водоносных пород.

Уравнение (VII.1) получено для водоносного горизонта постоянной мощности, т. е. справедливо для артезианского горизонта. Однако оно может быть использовано и при заложении скважины на грунтовые воды при условии, если мощность горизонта грунтовых вод значительно превосходит понижение уровня воды в скважине и отсутствует подсасывание скважиной воды из реки или других открытых водоемов.

Приведенное уравнение позволяет определить расстояние между проектируемой скважиной и очагами загрязнений, а также положение границ второго пояса зоны, когда необходимо исключить влияние на качество воды в скважине неустойчивых загрязнений (бактериальных, радиоактивных и т. д.). Также оно может быть использовано для установления границ второго пояса зоны, когда имеется опасность загрязнения воды скважины устойчивыми химическими веществами, если действительная скорость движения грунтовых или артезианских вод не превышает 0,01 м/сут. Но в этих случаях время $t$ принимается равным сроку полной амортизации скважины — в течение 25—50 и даже более лет, в зависимости от ответственности этой скважины как водозаборного сооружения.

Когда необходимо полностью исключить влияние устойчивых химических загрязнений на состав воды в скважине, то границы второго пояса следует проводить по контурам питания этой скважины (рис. 33).

Ширина области питания скважины $B_1$ имеет предел

$$B_1 = Q/q,$$

где $q$ — естественный расход потока на единицу его ширины.

---

[1] *Это уравнение имеет вид* $R_x = \sqrt{\frac{Qt}{\pi H \mu} + r_0^2}$, *но радиусом скважины* $r_0$ *можно пренебречь вследствие малой его величины по сравнению с* $\frac{Qt}{\pi H \mu}$.

В поперечном сечении, проходящем через скважину перпендикулярно направлению движения естественного потока, ширина области питания $B_2$ равна [135]

$$B_2 = Q/2q.$$

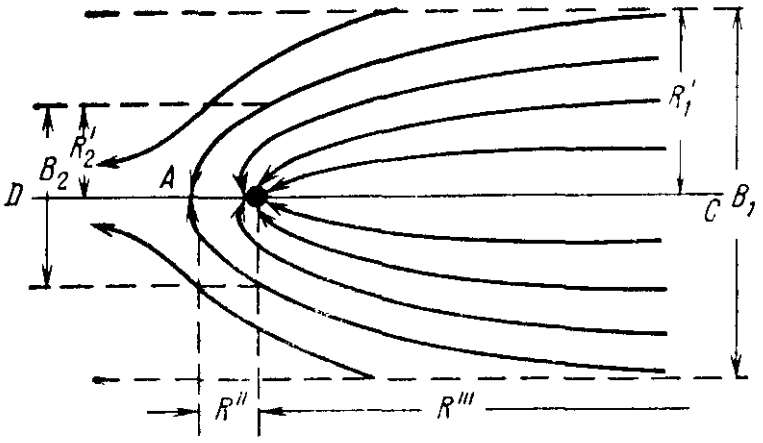



Рис. 33. Схема депрессионной воронки у водозаборной скважины

Однако для увеличения санитарной надежности водозаборной скважины границы второго пояса в направлении поперек естественного потока следует устанавливать, исходя из предельной ширины области питания, и проводить их не ближе расстояния $R_1'$ от скважины

$$R_1' = \frac{B_1}{2}.$$

Подставляя в последнее выражение значение $B_1$ и значение расхода естественного плоского потока $q = kH_{ср}i$, получаем

$$R_1' = \frac{Q}{2kH_{ср}i}, \qquad \text{(VII.2)}$$

где $k$ — коэффициент фильтрации водоносных пород в м/сут; $H_{ср}$ — средняя мощность водоносного горизонта в м; $i$ — естественный уклон поверхности уровня подземных вод.

В поперечном сечении, проходящем через скважину перпендикулярно направлению движения естественного потока, расстояние от скважины до контура области ее питания равно

$$R_2' = \frac{Q}{4kH_{ср}i}. \qquad \text{(VII.3)}$$

В направлении вниз по потоку от скважины граница второго пояса может быть установлена также не ближе радиуса питания скважины в этом направлении, который равен [135]

$$R'' = \frac{Q}{2\pi kH_{ср}i}. \qquad \text{(VII.4)}$$

Сложнее установить границу второго пояса вверх по потоку грунтовых вод. В этом направлении граница области питания водозабора совпадает с водораздельной линией поверхности зеркала грунтовых вод.

Положение водоразделов грунтовых вод может быть определено на основании данных гидрогеологической съемки и бурения разведочных скважин. Если же таких данных нет, то можно принять, что водораздел грунтовых вод совпадает с водораздельной линией современного рельефа поверхности земли.

Когда водораздельная линия поверхности грунтовых вод находится в нескольких или десятках километров от скважины, то не всегда следует расширять второй пояс зоны санитарной охраны до этой линии. Для ориентировочного установления границы второго пояса в указанном направлении можно использовать уравнение (VII.5), в которое входит время движения воды по линии тока $СД$, идущей через скважину по направлению движения естественного подземного потока (см. рис. 33)

$$t = \frac{\mu}{ki}\left[R''' - \frac{0{,}366Q}{H_{ср}ki}\lg\left(\frac{6{,}28H_{ср}kiR'''}{Q_t}+1\right)\right]. \qquad \text{(VII.5)}$$

Определить величину $R'''$ по известному времени $t$ из уравнения (VII.5) сложно, поэтому для каждого случая составляется график зависимости этих величин. Например, из скважины получают $Q = 1000$ м³/сут воды из водоносного горизонта, сложенного среднезернистыми песками с коэффициентом фильтрации $k = 10$ м/сут и активной пористостью $\mu = 0{,}2$; мощность водоносного горизонта $H_{ср} = 20$ м, а естественный уклон подземного потока $i = 0{,}002$. По этим данным можно определить время движения воды, например, для значений $R''' = 200, 500, 1000, 2000, 3000$ м. По полученным данным составляется график (табл. 18 и рис. 34), по которому можно определить значения величины для интересуемого времени $t$ после начала работы скважины. В рассматриваемой задаче величина $t$ принимается равной 25—50 годам и более в зависимости от назначения скважины или по санитарным соображениям.

Если при проектировании одиночной разведочно-эксплуатационной скважины можно составить карту гидроизогипс естественного потока и наложить на нее срезки уровней воды при работе скважины, то для определения границы второго пояса вверх по потоку можно использовать метод последовательного расчета, изложенный в статье В. И. Владимирского [34].

*Таблица 18*

**Зависимость величин $R'''$ и $t$ вверх по естественному потоку от водозаборной скважины**

| Данные построения графика зависимости величин $R'''$ и $t$ по уравнению (VII.5) | | Величины, полученные по графику (рис. 34) | |
|---|---|---|---|
| $R'''$, м | $t$, лет | $R'''$, м | $t$, лет |
| 200 | 1,3 | | |
| 500 | 6,5 | | |
| 1000 | 18 | 1280 | 25 |
| 2000 | 45 | 2180 | 50 |
| 3000 | 77 | | |

Гидрогеологические методы установления границ второго пояса зон санитарной охраны подземных водозаборов, а также времени движения воды от любой точки потока до скважины подробно рассмотрены в работе Е. Л. Минкина [89]. Разработанные им монограммы и графики позволяют сделать это не проводя громоздких расчетов.

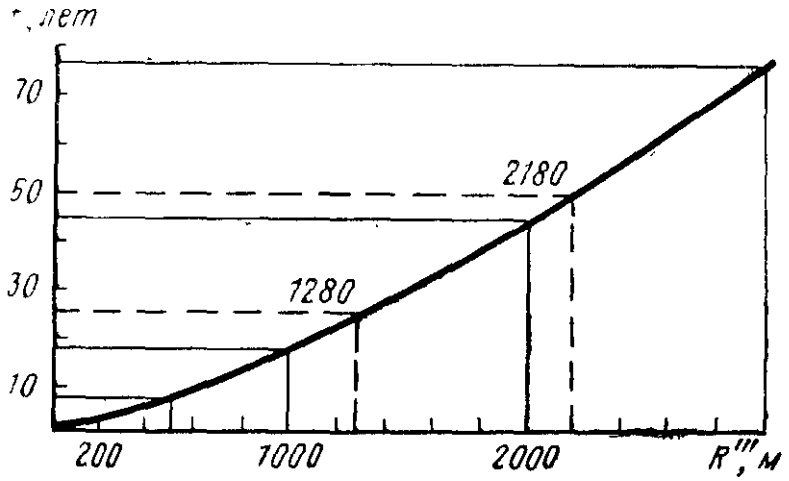



Рис. 34. График зависимости времени движения воды $t$ и расстояния $R'''$ вверх от водозаборной скважины в сложном радиальном подземном потоке

В изложенных методах обоснования границ второго пояса не учитывается глубина залегания зеркала грунтовых вод. Если зона аэрации сложена только песками и в ней отсутствуют пласты водоупорных пород или последние представляют собой не выдержанные по залеганию линзы, то глубину залегания зеркала грунтовых вод можно не учитывать, так как действительная скорость инфильтрации вод в этих условиях значительно превышает действительную горизонтальную скорость движения грунтовых вод к водозаборным сооружениям. Кроме того, очаги загрязнения подземных вод расположены не только на поверхности земли. Часто они находятся ниже этой поверхности и непосредственно загрязняют подземные воды (поглощающие скважины и колодцы, затопленные строительные котлованы и т. д.).

На низких геоморфологических террасах долин рек и других впадин современного рельефа в питании скважины, проектируемой на грунтовые воды, могут участвовать воды, подсасываемые из открытых водоемов. В районах, имеющих ограниченные ресурсы подземных вод, обеспечение питания скважин за счет подсасывания речных вод, как указывалось в главе V, является во многих случаях единственным путем получения требуемого количества воды из водозаборной скважины. Для исключения процессов интенсивного заиливания русла реки в месте поступления речной воды в водоносные пески рекомендуется такие скважины размещать не ближе 100—150 м от берега реки [22]. Согласно имеющимся полевым наблюдениям это расстояние фильтрации речной воды через пески обеспечивает очищение ее от бактериальных загрязнений [11, 23].

Если динамический уровень в скважине находится выше уровня открытого водоема (в том числе и в период паводка), то она не будет подсасывать воду из этого водоема. Для приближенной оценки можно считать, что вода из открытого водоема будет поступать в скважину при падении динамического уровня ниже уреза водоема, если расстояние между скважиной и водоемом $a$ будет меньше удвоенного

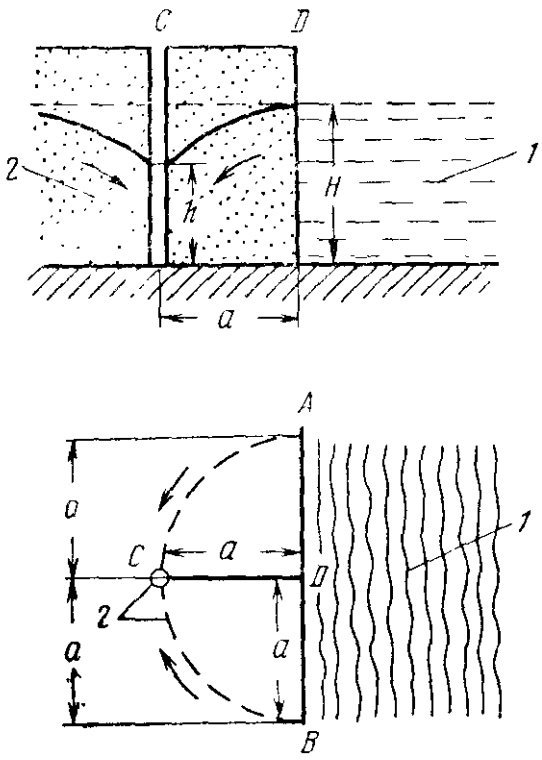



Рис. 35. Схема движения воды при работе водозаборной скважины, подсасывающей воду из открытого водоема:

*1* — открытый водоем; *2* — сушка

радиуса, определяемого по уравнению (VII.4) [1]. Таким образом, по радиусу питания можно ориентировочно определить санитарный разрыв между скважиной и берегом открытого водоема для исключения подсоса загрязненной воды из него.

Когда скважина подсасывает воду из открытого водоема, то время движения воды от берега до скважины по наиболее близкому расстоянию $a$ (рис. 35) определяется уравнением, которое получено из уравнения Форхгаймера, выведенного им методом отраженного колодца

$$t = \frac{\pi \mu a^2 (h + H)}{3Q}, \qquad \text{(VII.6)}$$

где $a$ — кратчайшее расстояние между скважиной и берегом открытого водоема в м; $H$ — уровень воды в открытом водоеме в м; $h$ — динамический уровень воды в скважине в м; остальные обозначения указаны ранее.

Основное количество воды подсасывается скважиной из близ расположенного участка водоема. Согласно гидромеханическим исследованиям В. И. Щелкачева и Б. Б. Лапука [136], время движения воды, идущей к скважине по линиям тока от точек $A$ или $B$, находящихся на берегу водоема на расстоянии $a$ от линии $CD$ (см. рис. 35), в 3 раза больше времени, которое определяется уравнением (VII.6).

Проведенные зависимости справедливы при постоянных уровнях воды в скважине и водоеме. При изменении уровня воды в водоеме во время паводка или под влиянием других причин для точного решения данной задачи надо использовать более сложные зависимости неустановившегося движения подземных вод. Однако для решения санитарных вопросов при проектировании разведочно-эксплуатационных скважин можно ограничиться использованием приближенных уравнений установившегося движения подземных вод или графиками, разработанными Е. Л. Минкиным [89] и приведенными в Указаниях по проектированию сооружений для забора подземных вод (СН 325—63).

В уравнения для определения границ второго пояса входят коэффициенты фильтрации и активной пористости водоносных пород. Так как при проектировании одиночных разведочно-эксплуатационных скважин эти величины не всегда известны, в табл. 19 для разных пород (в том числе и для некоторых скальных трещиноватых пород) приведены значения этих величин, которыми можно пользоваться для ориентировочных расчетов.

*Таблица 19*

**Приближенные средние коэффициенты фильтрации и водоотдачи (активной пористости и открытой трещиноватости) горных пород [1]**

| Порода | Коэффициент фильтрации $k$, м/сут | Водоотдача $\mu$ |
|---|---|---|
| *Рыхлые осадочные породы* | | |
| Галька и гравий | 100—1000 | 0,25—0,35 |
| Песок: | | |
| крупнозернистый | 10—100 | 0,25—0,35 |
| среднезернистый | 1—10 | 0,20—0,25 |
| мелкозернистый | 0,1—1 | 0,15—0,20 |
| Торфяные породы | 0,1—1 | — |
| Супесь | 0,01—0,1 | 0,10—0,15 |
| Суглинок | 0,0001—0,01 | — |
| Глины | Менее 0,0001 | — |
| *Скальные трещиноватые породы* | | |
| Известняки трещиноватые | Более 10 | 0,008—0,10 |
| Гнейсы | Менее 10 | 0,003—0,024 |
| Граниты | » 10 | 0,0002—0,019 |
| Порфириты | » 10 | 0,0038—0,067 |
| Песчаники на глинистом цементе | 0,01—0,001 | 0,02—0,03 |

[1] По данным «Справочное руководство гидрогеолога» М., «Недра», 1967.

*ГЛАВА VIII*

# ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Успешные результаты вскрытия водоносного горизонта и дальнейшая бесперебойная эксплуатация подземных вод зависят не только от благоприятных гидрогеологических условий и правильного выбора места заложения скважины, но и от соответствия технологии производства работ поставленным задачам.

В настоящее время при сооружении скважин на воду применяют в основном роторный и ударно-канатный способы бурения, значительно реже колонковый.

Прежде чем перейти к рассмотрению преимуществ и недостатков каждого из перечисленных способов сооружения скважин, следует охарактеризовать положение, создавшееся с ударно-канатным бурением в последнее время.

Еще в начале пятидесятых годов начали постепенно сокращаться и к 1955 г. почти прекратились исследовательские и конструкторские работы в области совершенствования ударно-канатного бурения и особенно забойного инструмента. Не были доведены до конца испытания некоторых технических усовершенствований, которые, несомненно, могли повысить эффективность работы забойного инструмента.

К 70-м годам положение с ударно-канатным бурением существенно изменилось в лучшую сторону и в этом немалая заслуга не только прогрессивной технической мысли широкой общественности, но и практической деятельности треста Промбурвод — ведущей организации по бурению скважин для водоснабжения в нашей стране.

Освоен и частично внедрен в производство метод обсадки труб с применением так называемой тиксотропной «рубашки», заимствованный из практики кессонных работ, позволяющий в несколько раз увеличивать «выходы» отдельных колонн труб (до 60—80 м каждой) в зависимости от их диаметра и состава проходимых пород: находится в стадии освоения конус-расширитель, предназначенный для увеличения водосборной площади и предохранения башмака фильтровой колонны в водоносных горизонтах, сложенных рыхлыми породами: находится в серийном производстве новый ударно-канатный станок КС-24, предназначенный для бурения скважин в породах

различной крепости (от пород слабых и неустойчивых до пород с коэффициентом крепости $f = 12$).

Конструкция станка предусматривает возможность применения двух типов привода — дизельного (КС-24Д) и электрического (КС-24Э).

## § 1. УДАРНО-КАНАТНЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ

Сторонники роторного бурения считают ударно-канатное бурение морально устаревшим вследствие сравнительно небольшой механической скорости бурения, особенно на глубине 120—150 м и более, большого расхода обсадных труб, плохой транспортабельности и очень высокой стоимости.

Несмотря на значительные недостатки, ударно-канатный способ бурения имеет также и много преимуществ, позволяющих нередко отдавать ему предпочтение при сооружении скважин на воду. Эти преимущества таковы.

При бурении ударно-канатным способом скважина и проходимые водоносные горизонты все время остаются чистыми от посторонних примесей. По данным наблюдений за положением уровня воды в скважине в процессе бурения всегда можно судить о водоносности или о водоупорности проходимых пород, можно последовательно опробовать проходимые водоносные горизонты и при необходимости возвращаться к ранее пройденному горизонту. В одной скважине можно относительно быстро зафиксировать установившийся средний уровень соединенных горизонтов, по косвенным признакам в процессе бурения всегда можно судить о водообильности проходимого горизонта. Геологический разрез проходимых пород удается документировать с вполне удовлетворительной точностью, включая прослои даже незначительной мощности. Имеется возможность сооружать скважины с большими начальными диаметрами, нет необходимости зимой устраивать отеплительные приспособления для отдельных частей и механизмов агрегата. Иными словами, при бурении скважины ударно-канатным способом имеются довольно широкие возможности для действий с колоннами обсадных труб и для опытных исследований проходимых водоносных горизонтов, что особенно важно для водоснабжения.

Как показывает опыт, при соответствующей организации работы можно достигнуть хороших показателей скорости бурения.

Из практики бурения скважин на воду за рубежом известно, что многие крупные буровые фирмы США, Англии и Федеративной Республики Германии («Стар», «Итаг», «Вирт» и др.), ведущие бурение на воду на всех континентах, до сих пор не только не отказались от ударно-канатного способа, но отдают ему предпочтение.

Это подтверждается фактическими данными, из которых видны динамика роста и эволюция методов бурения на воду на территории США [1]. В 1949 г. для водоснабжения было пробурено 314 467

[1] *Growth of the industry. Driller, 1966, No 2, pp. 32—35.*

скважин, а в 1965 г. — 948 573. Из общего количества скважин на воду (в %) для сельского хозяйства было пробурено 86,3, для промышленных объектов 4,3, городов 3,1, горной и нефтегазовой промышленности 2,7 и для орошения 3,6. По способу производства работ бурение распределилось следующим образом (в %): ударно-канатное 66,6; ударно-штанговое 1,5; вращательное 20,2 и прочие виды бурения 11,7. По эксплуатационному диаметру пробуренные скважины составляют (в %): менее 100 мм — 19,2; от 100 до 150 мм — 43,6; от 150 до 300 мм — 31,2 и более 300 мм — 6.

Из приведенных данных видно, что в США в практике сооружения скважин для водоснабжения вращательное бурение с промывкой глинистым раствором представляет незначительный объем и применяется только в исключительных случаях.

Американские специалисты считают, что крепкие породы выгоднее бурить ударно-канатным способом даже на глубины больше 1000 м, при этом они отмечают, что механическая скорость ударного бурения в очень крепких породах близка к скорости роторного бурения, а иногда даже равна ей; в то же время затраты на ударное бурение при этих условиях в 2,5 раза меньше, чем на роторное. Кроме того, при ударно-канатном бурении более точно определяется геологический разрез в малоизученных районах и успешнее проходка в безводных районах, где роторный способ можно применять только при подвозе воды.

Скважины для водоснабжения ракетных пусковых площадок в США бурят ударно-канатным способом. Как сообщает подполковник инженерных войск Р. Фриц в статье «Комплекс сооружений для ракет «Титан»[1], в каждом комплексе бурилось по две скважины с расчетным дебитом не менее 36 м³/ч на каждую скважину. Работы, проводившиеся станками ударно-канатного бурения в скальных трещиноватых породах, продолжались с апреля 1959 г. до января 1960 г., когда была опробована и принята последняя из шести скважин глубина которых составляла от 150 до 300 м.

Кроме того, непрерывно совершенствуются и ударно-канатные станки и забойный инструмент, большинство ударно-канатных станков самоходные. Что же касается забойного инструмента, то можно привести следующий пример. Одной из фирм, проводящей ударно-канатное бурение диаметром от 185 до 385 мм на глубину до 800 м, сконструирован канатный бур с большим количеством ударов. Это несложное приспособление в виде жесткого стержня или втулки между инструментальным канатом и долотом. Вокруг стержня или внутри втулки помещается утяжеленный ударник, установленный на пружине, упирающейся в долото. Пружина может быть дополнительно установлена и сверху.

При ударе долота о забой ударник, сжимая пружину, дополнительно ударяет по долоту, причем частота ударов на забое увеличи-

---

[1] *Civil Engineering I. 1961. No 4, 5.*

вается по меньшей мере в 2 раза, следовательно, и механическая скорость бурения возрастает соответственно не менее чем вдвое.

Успешно используется метод и обычного ударного бурения станками Бьюсайрус-Эри в осадочных (70%) и изверженных (около 30%) породах типа базальтов и гранитов.

Наиболее мощный станок (модель 36-L) для бурения диаметром 630 мм на глубину более 300 м успешно обеспечивает проходку в изверженных породах вследствие большого веса снаряда. Станки модели 22-W применяют в сравнительно простых при диаметре скважин 219—325 мм, а станки 28-L и 60-L в условиях средней трудности при диаметрах около 426 мм и глубине до 150 м. В твердых породах считается нерациональным бурить скважины долотами диаметром менее 198 мм, так как недостаточен вес снаряда для эффективного внедрения в породу. Длительным опытом установлено, что для твердых пород целесообразнее применять кованые долота без армирования твердым сплавом, поскольку он быстро разрушается. Для заправки долот каждую буровую установку оснащают передвижной кузницей. Проходка на долото составляет 4,5 м. Механическая скорость бурения составляет в твердых породах 0,6—0,9 м/ч, в мягких — до 1,8 м/ч.

Скорости проходки по твердым породам при ударно-канатном бурении американские специалисты придают большое значение. Р. Моррисон сообщает, из личного опыта, что при бурении станками Бьюсайрус-Эри (модели 20-WS и 22-W) в гранитах умеренной твердости была достигнута средняя механическая скорость проходки 0,36 м/ч, а максимальная 0,9 м/ч. Станком 22-W за 14 недель была сооружена скважина глубиной 368 м.

Немалое внимание уделяют американцы и бурению желонками в песчано-гравийных и валунно-галечниковых породах для водоснабжения в Калифорнии. Теми же моделями станков 22-W и 60-L фирмы Бьюсайрус-Эри бурят скважины диаметром 495—248 мм на глубину до 150 м. На бурение скважины с обсадной колонной диаметром 219 мм до глубины 52 м затрачивают 10 ч. Бурение скважины с начальным диаметром 426 мм, глубиной около 150 м с полным оборудованием ее завершают за 18 сут. Бурят преимущественно тяжелой желонкой и в исключительных случаях — ударными долотами. Применяют удлиненную желонку весом около 900 кг с опережающим лезвием и плотно прилегающим клапаном. Режущие кромки башмака и лезвия армируют твердым сплавом. Отставание башмака обсадных труб не допускают более чем на 0,6 м, для чего трубы задавливают с помощью канатной системы. Если задавливающее усилие превышает вес буровой установки, ее заякоривают.

Кроме названных выше станков американцы применяют также станки Кейстон 50, Спидстар 35 и др. Все станки смонтированы на автомобилях. Дневная производительность от 4,5 до 24 м в скальных породах — известняках и песчаниках. Характерно, что американцы считают применение ударно-канатного способа бурения наиболее экономичным особенно в высокоабразивных породах.

*Таблица 20*

## Техническая характеристика станков ударно-канатного бурения

| Показатели | Буровые станки | |
|---|---|---|
| | УКС-22М | УКС-30М |
| Начальный диаметр скважины, мм | 600 | 900 |
| Глубина бурения, м | 300 | 500 |
| Грузоподъемность барабана, кг: | | |
| инструментального | 2000 | 3000 |
| желоночного | 1300 | 2000 |
| талевого | 1500 | 3000 |
| Диаметр каната, мм: | | |
| инструментального | 21,5 | 26 |
| желоночного | 15,5 | 17,5 |
| талевого | 15,5 | 21,5 |
| Электродвигатель | АО-73—6 | АО-93—8 |
| Мощность, кВт | 20 | 40 |
| Высота мачты, м | 12,25 | 16 |
| Грузоподъемность мачты, т | 12 | 25 |
| Размеры станка в транспортном положении, мм | 8500 × 2290 × × 2750 | 10 000 × 2640 × × 3500 |
| Масса станка (с канатами, мачтой, электродвигателем), т | 7,6 | 12,7 |

*Таблица 21*

## Техническая характеристика станка КС-24

| Показатели | КС-24Д | КС-24Э |
|---|---|---|
| Максимальный диаметр скважины, мм | 600 | 600 |
| Глубина бурения, м | 200 | 200 |
| Масса бурового снаряда, кг | 1700 | 1700 |
| Высота хода бурового снаряда, м | 0,4—0,9 | 0,4—0,9 |
| Число ударов бурового снаряда в минуту | 39—53 | 40,46—52 |
| Грузоподъемность барабанов, кг: | | |
| инструментального | 2500 | |
| желоночного | 1500 | |
| талевого | 4200 | |
| Привод | Дизель Д-50Л, 55 л. с. и реверсивная коробка | Электродвигатель 30 кВт |
| Грузоподъемность мачты, т | 20 | 13,45 |
| Высота мачты в рабочем положении, м | 13,45 | 13,45 |
| Масса станка при транспортировке, т | 8,8 | 8,9 |

Характерно и то, что американцы успешно внедряют ударные механизмы и в роторное бурение.

Так, компания «Галф рисэрч энд девелопмент»[1] в течение 10 лет работала над созданием механизма, эффективность которого заключается в сочетании вращательного и ударного способов бурения. Механизм развивает от 300 до 600 ударов в 1 мин, причем частоту ударов можно увеличивать, использовав принцип двойного действия. В зависимости от величины осевого давления на долото и прочности (буримости) проходимых пород механическая скорость бурения возрастает в 2—10 раз по сравнению со скоростью роторного бурения.

Приведенные факты показывают, что ударно-канатное бурение следует развивать и совершенствовать как перспективный способ работы. Техническая характеристика станков ударно-канатного бурения приведена в табл. 20 и 21.

## § 2. РОТОРНЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ

В последние годы роторный способ бурения скважин на воду получил неоправданно большое распространение и усиленно рекламируется как прогрессивный, знаменующий собой внедрение в производство новой техники, и в то же время экономически очень выгодный. Однако роторный способ бурения противопоказан для сооружения разведочно-эксплуатационных скважин на воду.

Роторный способ для бурения скважин на воду был механически заимствован из практики бурения на нефть. В свое время роторное бурение получило распространение в нефтяной промышленности вследствие большей механической скорости проходки в породах низких категорий по буримости и возможности более быстрого, чем при ударном бурении, достижения относительно больших глубин (1500—2000—3000 м), на которых обычно залегают нефтяные пласты.

Другим фактором, обусловившим внедрение роторного способа бурения на нефть, был значительно меньший, чем при ударном бурении, расход обсадных труб. При роторном бурении выход колонны обсадных труб одного диаметра может достигать нескольких сотен метров. Благодаря этому значительно снижается стоимость глубоких скважин, пробуренных роторным способом в мягких породах, представляющих геологический разрез нефтяных месторождений юга СССР. К тому же следует учесть, что проходка скважины глубиной 2000—3000 м ударно-канатным способом практически просто неосуществима, и поэтому внедрение роторного и турбинного способов бурения в нефтяной промышленности было обусловлено технической необходимостью и экономической целесообразностью.

Бурение роторным способом скважин для водоснабжения имеет ряд прямых противопоказаний, начиная уже с того, что одно из главных назначений глинистого раствора — это борьба с водопроявлениями, глушение, а не вскрытие водоносных горизонтов. Отсюда и разнообразие параметров глинистых растворов вплоть до

---

[1] *World Oil, 1957, No. 1*

утяжеленных, предназначенных для борьбы с самыми активными водо проявлениями.

В процессе бурения в мягких и рыхлых породах не возможны не только опробование, но и наблюдения за изменением положения уровней проходимых водоносных горизонтов.

Эффективное опробование промежуточных водоносных горизонтов после спуска обсадной колонны и восстановления водоотдачи горизонта также невозможно по следующим причинам.

Если водоносный горизонт встречен в рыхлых породах, то в скважину необходимо опустить фильтр и приподнять обсадную колонну. Однако ее нельзя приподнять, так как эта колонна должна быть зацементирована. Если же она не зацементирована, то вследствие большого зазора между стенками скважины и трубами (не менее 50 мм на сторону) возможно оплывание пород водоупорной кровли после подъема колонны. Вследствие этого может произойти или дополнительная закупорка водоносного горизонта, или искажение истинного положения статического уровня, если над водоупорными породами имеется еще один неперекрытый водоносный горизонт. Если же фильтр спускать не потайной, а в составе колонны того же диаметра, выведенной к устью, то, например, при отрицательных результатах опробования и необходимости извлечения фильтровой колонны дальнейшее бурение скважины возможно только при условии вторичной проходки, так как ствол, безусловно, оплывет после подъема колонны.

Положение почти не меняется и при бурении в устойчивых трещиноватых скальных породах, так как нужно обязательно применять промывочную жидкость [1] и, следовательно, необходимы все работы по восстановлению водоотдачи водоносного горизонта. Вероятность соединения водоносных горизонтов увеличивается при наличии незацементированной колонны и без нее.

В результате этих особенностей технологии роторного бурения чрезвычайно затрудняется гидрогеологическое опробование попутно встреченных водоносных горизонтов. Значительно осложняется и обычная документация геолого-литологического разреза, поскольку проходимые породы измельчаются и выносятся в виде шлама. Поэтому геологический разрез может быть установлен только на основании каротажных диаграмм, а каротаж скважины обычно проводится не в процессе бурения, а после окончания этой работы.

При использовании глинистого раствора необходимы специальные работы по восстановлению водоотдачи водоносного горизонта.

Сторонники широкого внедрения роторного бурения на воду утверждают, ссылаясь на данные лабораторных исследований, что при условии применения кондиционного глинистого раствора и ре-

---

[1] *Применение чистой воды в качестве промывочной жидкости и бурение «без циркуляции» могут быть рекомендованы исключительно при проходке крупнотрещиноватых скальных пород. Промывка же водой при проходке мелкотрещиноватых скальных пород может привести к полной закупорке трещин и безводности скважины.*

жима бурения, строго соответствующего проходимым породам, на стенках скважины образуется тонкая глинистая корка, легко удаляемая при работах по восстановлению водоотдачи горизонта. Не оспаривая точности и достоверности данных лабораторных испытаний, необходимо отметить, что в производственных полевых условиях никогда не удается воссоздать условия лаборатории, а рецептура приготовления глинистого раствора всегда нарушается. Это происходит чаще всего не только вследствие использования не привозной кондиционной, а подручной глины, но и в результате изменения гидрогеологических условий проходимой скважины, влияющих на параметры глинистого раствора. В результате глинистый раствор проникает иногда в пласт, как показывает опыт, на многие десятки и даже сотни метров.

Водоносные горизонты, как правило, оказываются в той или иной степени заглинизированными, причем иногда настолько сильно, что восстановить их нормальную водоотдачу вообще не удается, или же на эту работу необходимо затрачивать много времени и больше средств. Показательны в этом отношении данные, приведенные М. А. Хордикайненом [124] и полученные в результате бурения и опробования скважин на воду, которые были пройдены вращательным (роторным и колонковым) и ударно-канатным способами в районе Джезказгана (Казахстан).

Скважинами вскрыт водоносный горизонт в трещиноватых известняках и доломитах нижнего карбона — верхнего девона; глубина скважин до 150 м, диаметры водоприемной части скважин вращательного бурения 130—150 мм, скважин ударно-канатного бурения 150—200 мм. Скважины закладывались на расстоянии 4—6 м одна от другой, причем сначала бурили скважину вращательным способом и затем опробовали ее, а после этого на расстоянии 4—6 м скважину-дублер бурили ударно-канатным способом и тоже опробовали, поэтому в табл. 22 одним номером обозначено две скважины.

Из данных, приведенных в табл. 22, видно, что удельные дебиты скважин ударного бурения намного больше, чем удельные дебиты скважин, пробуренных вращательным способом.

*Таблица 22*

**Характеристика производительности скважин, пройденных различными способами бурения**

| № скважины | Скважины, пробуренные вращательным способом | | | Скважины, пробуренные ударно-канатным способом | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | понижение, м | дебит, м³/ч | удельный дебит, м³/ч | понижение, м | дебит, м³/ч | удельный дебит, м³/ч |
| 6 | 17,9 | 130 | 7,45 | 7,55 | 144 | 19,4 |
| 8 | 0,73 | 254 | 348 | 0,72 | 321 | 459 |
| 23 | 2,32 | 159 | 67,1 | 0,72 | 305 | 421 |
| 13 | 5,23 | 86,5 | 16,8 | 13,7 | 323 | 24,9 |
| 73 | 0,25 | 14,6 | 58,1 | 2,22 | 382 | 173 |
| 1г | 3,35 | 156 | 46,5 | 1,70 | 202 | 119 |

М. А. Хордикайнен также считает, что единственной причиной относительно меньших дебитов скважин в районе Джезказгана является специфика технологии вращательного бурения, способствующая почти необратимой кольматации трещин и каверн в породах, прилегающих к водоприемной части.

Полную кольматацию водоносного горизонта в результате промывки скважин глинистым раствором при роторном бурении подтверждает и З. М. Вортман [1]. Он описывает случай, когда на основании данных роторного бурения было дано заключение о невозможности получения необходимого дебита на участке водозабора в районе Белгорода. Однако в результате контрольного бурения ударно-канатным способом и опробования скважины оказалось, что действительный дебит в 40 раз больше, чем ранее установленный, и вполне обеспечивает потребителя.

Много аналогичных примеров приводит З. М. Вортман [39].

Как показали наблюдения, проведенные Б. П. Маркиным [86] на Алтае, скважины, пробуренные роторным способом на водоносные горизонты песков, снижают свой первоначальный дебит в процессе их эксплуатации. Это вызвано тем, что проникшие в пески частицы глинистого раствора подтягиваются к призабойной зоне скважины и препятствуют притоку к ней воды. Указанное явление чаще наблюдается у скважин, работающих с неустойчивым режимом эксплуатации.

Требования и условия технологии роторного бурения исключают возможность технически правильного ведения гидрогеологических наблюдений и соответствующего опробования проходимых горизонтов.

Серьезным техническим недостатком роторного бурения является также ограниченность начальных диаметров, не превышающих в настоящее время 406 мм. Бурение инструментом большего диаметра связано с техническими затруднениями, резко снижает механическую скорость проходки и вызывает преждевременный износ станков.

Изложенное позволяет сделать вывод, что роторный способ можно применять для бурения глубоких одиночных разведочно-эксплуатационных скважин при недостаточной изученности района только тогда, когда бурение ударно-канатным способом технически неосуществимо или явно нерентабельно, или для бурения скважин на участках групповых водозаборов после того, как эти участки были ранее детально разведаны и опробованы в гидрогеологическом отношении.

Однако последнее время за рубежом и в СССР роторный способ успешно внедряется при бурении водозаборных скважин большого диаметра с обратной промывкой для вскрытия водоносных горизонтов, приуроченных к пескам. Удельные дебиты таких скважин часто в 2—3 и более раз превышают удельные дебиты скважин, пробуренных здесь же обычным ударным способом. Бурение скважин с обрат-

---

[1] *Вортман З. М. Цена пресной воды.* «*Известия*», *10 марта 1966 г.*

ной промывкой целесообразно осуществлять при глубине статического уровня воды не менее 3 м.

Для сравнительной оценки всех преимуществ и недостатков того и другого вида бурения на воду необходимо рассмотреть еще два фактора: глубину скважин и стоимость бурения. Известно, что роторное бурение имеет решающее преимущество перед ударно-канатным, когда необходимо бурить скважины большой глубины (1000—3000 м).

Подземные же воды, используемые для водоснабжения, на территории СССР находятся на сравнительно небольших глубинах. Исключение представляют или сравнительно малые районы (например, восточной части Украины), или пока еще слабо освоенные территории страны (отдельные участки Западной Сибири, северо-восточного Казахстана, Прикаспийской низменности и т. п.), где глубины скважин достигают 700—800 м и более.

Это положение может быть иллюстрировано данными о распределении разведочно-эксплуатационных скважин на воду по глубине (в %), пробуренных одной из ведущих буровых организаций на территории СССР с 1955 по 1960 г. (По состоянию на 1973 г. процентное соотношение скважин по их глубине почти не изменилось).

| | Меньше | | | | | | Больше |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Глубина скважин, м | 60 | 61—100 | 101—150 | 151—200 | 201—250 | 251—300 | 300 |
| Число скважин, % | 37,1 | 25,1 | 17,5 | 7,8 | 4,7 | 3,2 | 4,2 |

Из этих данных видно, что скважины глубиной до 100 м составляют 62,2% их общего количества, а скважины глубиной до 150 м почти 80%. Приведенные данные относятся в основном к скважинам, пробуренным для промышленных объектов, в сельском хозяйстве около 70% скважин имеют глубину от 50 до 100 м. Сооружение скважин такой глубины ударно-канатным способом обычно не встречает никаких серьезных технических затруднений.

В качестве одного из самых веских доводов часто приводят мнимую дешевизну роторного бурения. Для доказательства неправильности этого положения можно привести характерные геологические разрезы скважин: на глубину 75 м (Центральный район, рис. 36), 125 м (Среднее Поволжье, рис. 37), 220 м (Центральный район, рис. 38) и 250 м (Прикубанская депрессия, рис. 39). Для каждого из разрезов приведены проектные конструкции скважин в двух вариантах: для ударно-канатного и роторного бурения.

При расчете сметной стоимости [1] скважины глубиной 75 м для

---

[1] *Сметная стоимость скважин для всех приведенных примеров рассчитана на основании сборника № 22 «Единых районных единичных расценок на строительные работы (бурение на воду)», утвержденных Госстроем для применения с 1 января 1961 г. М., Госстройиздат, 1960.*

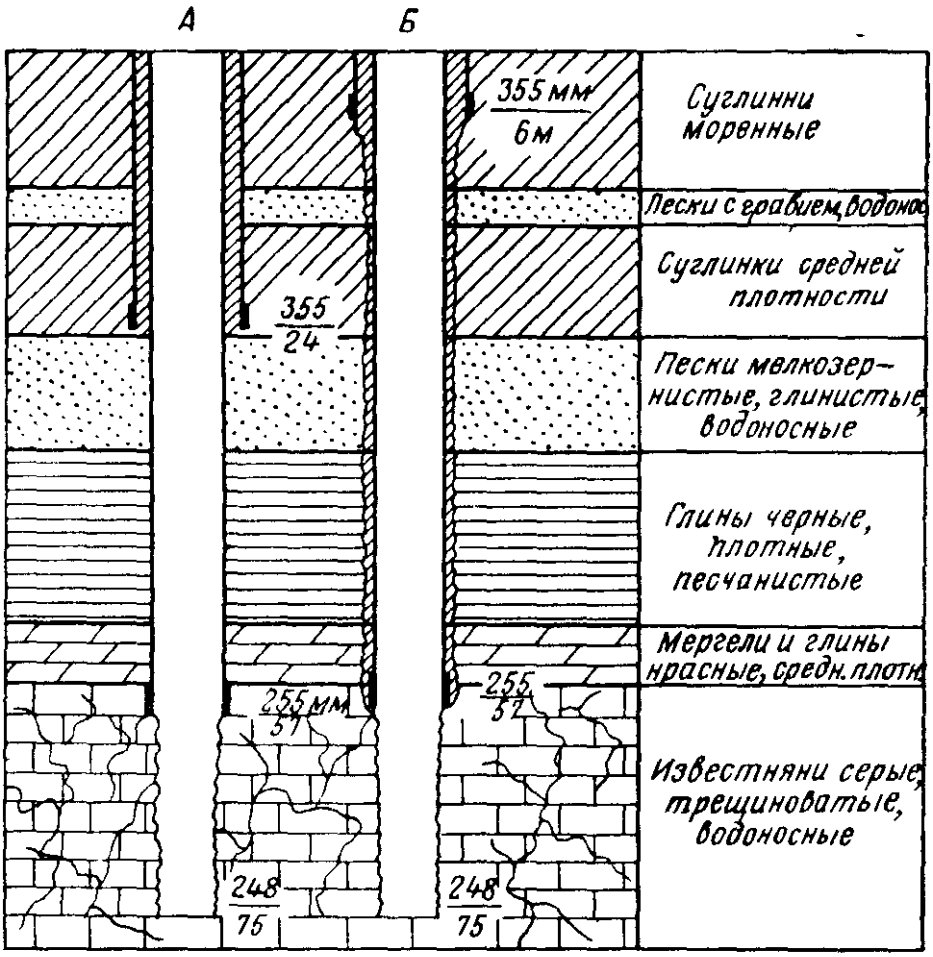



Рис. 36. Конструкция скважины глубиной 75 м:
*А* — для ударно-канатного бурения, *Б* — для роторного бурения

обоих способов бурения (рис. 36) были приняты следующие категории буримости пород:

на глубине от 0 до 12 м — I категория
» » » 12 » 15 » — II »
» » » 15 » 25 » — I »
» » » 25 » 55 » — II »
» » » 55 » 65 » — III »
» » » 65 » 75 » — IV »

При этом стоимость бурения скважины ударно-канатным способом бурения составила 3,3 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 44 руб.), а стоимость бурения скважины роторным способом 3,0 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 40 руб.).

При определении сметной стоимости скважины глубиной 125 м для обоих способов бурения (рис. 37) были приняты следующие категории буримости пород:

на глубине от 0 до 20 м — I категория
» » » 20 » 60 » — II »
» » » 60 » 75 » — III »
» » » 70 » 125 » — IV »

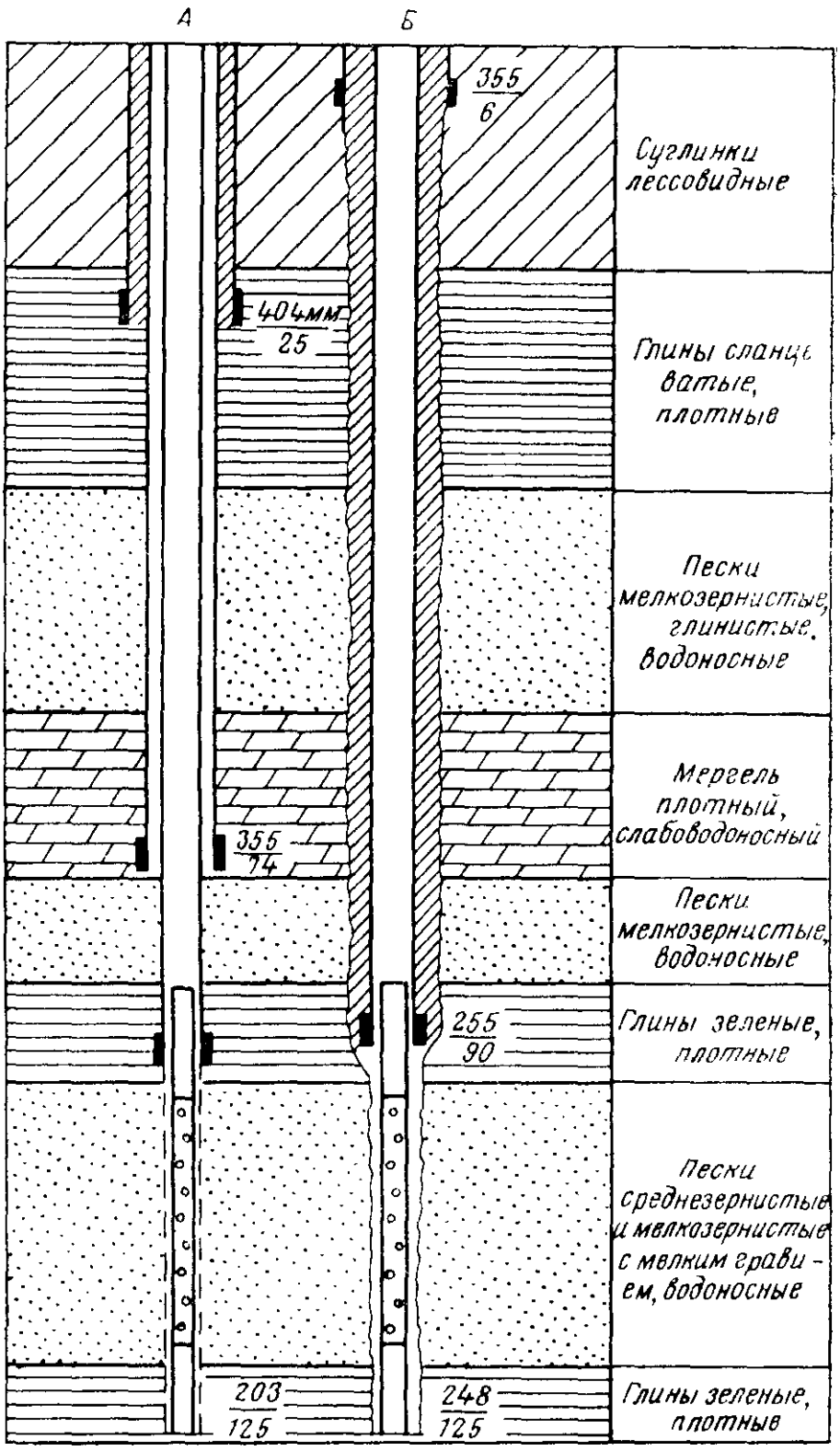



Рис. 37. Конструкция скважины глубиной 125 м

Обозначения те же, что на рис. 36

Стоимость бурения скважины ударно-канатным способом составила 5,1 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 40 р. 90 к.), а стоимость бурения скважины роторным способом 4,8 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 38 р. 40 к.).

При расчете сметной стоимости скважины глубиной 220 м (рис. 38) были приняты следующие категории буримости пород:

на глубине от 0 до 30 м — III категория
» » » 30 » 65 » — II »
» » » 60 » 145 » — III »
» » » 145 » 165 » — II (70%), III (30%)
» » » 165 » 220 » — II (20%), V (80%)

При этих условиях стоимость бурения скважины ударно-канатным способом составит 19,5 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 88 р. 63 к.), а стоимость бурения скважины роторным способом 18,3 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 83 р. 18 к.).

Для расчета сметной стоимости скважины глубиной 250 м для обоих способов бурения (рис. 39) были приняты следующие категории буримости пород:

на глубине от 0 до 95 м — I категория
» » » 95 » 250 » — II »

Стоимость бурения скважины ударно-канатным способом составила 10,6 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 42 р. 40 к.), а стоимость бурения скважины роторным способом 11,1 тыс. руб. (стоимость бурения 1 м — 44 р. 40 к).

Во всех четырех разрезах преобладают породы легкой и средней буримости, что вполне благоприятно для роторного бурения.

Для бурения роторным способом предусмотрены электрокаротаж и гамма-каротаж, фильтры, одинаковые для скважин того и другого вида бурения, продолжительность опробования скважин при помощи воздушного подъемника одинакова. Однако на восстановление водоотдачи и опробование скважины, пробуренной роторным способом, всегда затрачивается в несколько раз больше времени, чем только на опробование скважины, пробуренной ударно-канатным способом.

При сопоставлении стоимости бурения и опробования оказывается, что в первом примере роторное бурение дешевле ударно-канатного на 9%, во втором — на 4%, а в третьем — на 6%. В четвертом примере, наоборот, роторное бурение оказывается даже на 0,5% дороже, чем ударно-канатное, так как при последнем предусмотрено извлечение трех колонн труб. Из приведенных примеров видно, что и по стоимости проведения работ роторное бурение не имеет решающего преимущества над ударно-канатным.

Техническая характеристика установок роторного бурения приведена в табл. 23.

Сравнительно недавно принята к серийному выпуску новая мощная комбинированная роторно-ударная буровая установка УБВ-600, которую следует осветить более подробно.

УБВ-600 рассчитана на роторное бурение с промывкой (основной способ) и ударное бурение (вспомогательный способ). Проходить скважину до намеченного водоносного горизонта можно вращательным способом с промывкой, для чего установка оборудована ротором, двумя буровыми насосами и коммуникациями для доставки

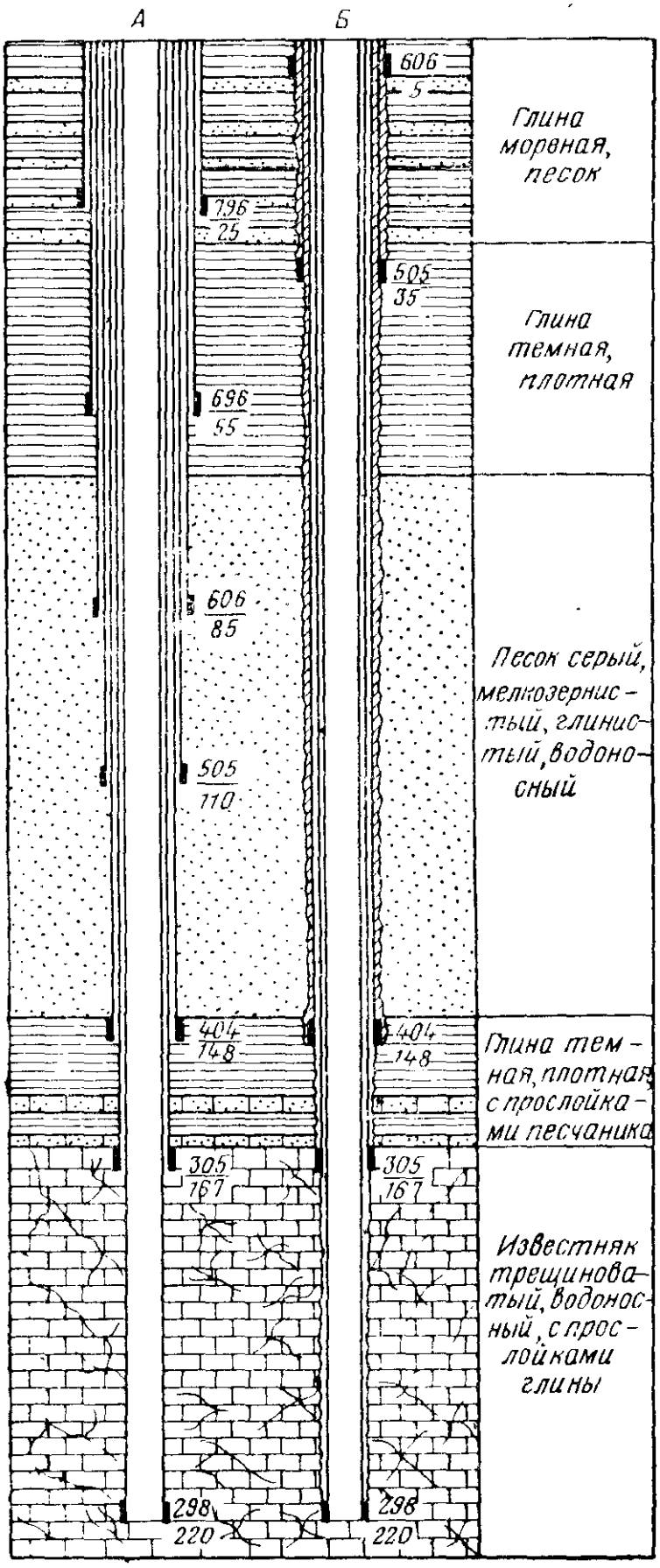



Рис. 38. Конструкция скважины глубиной 220 м

Обозначения те же, что на рис. 36

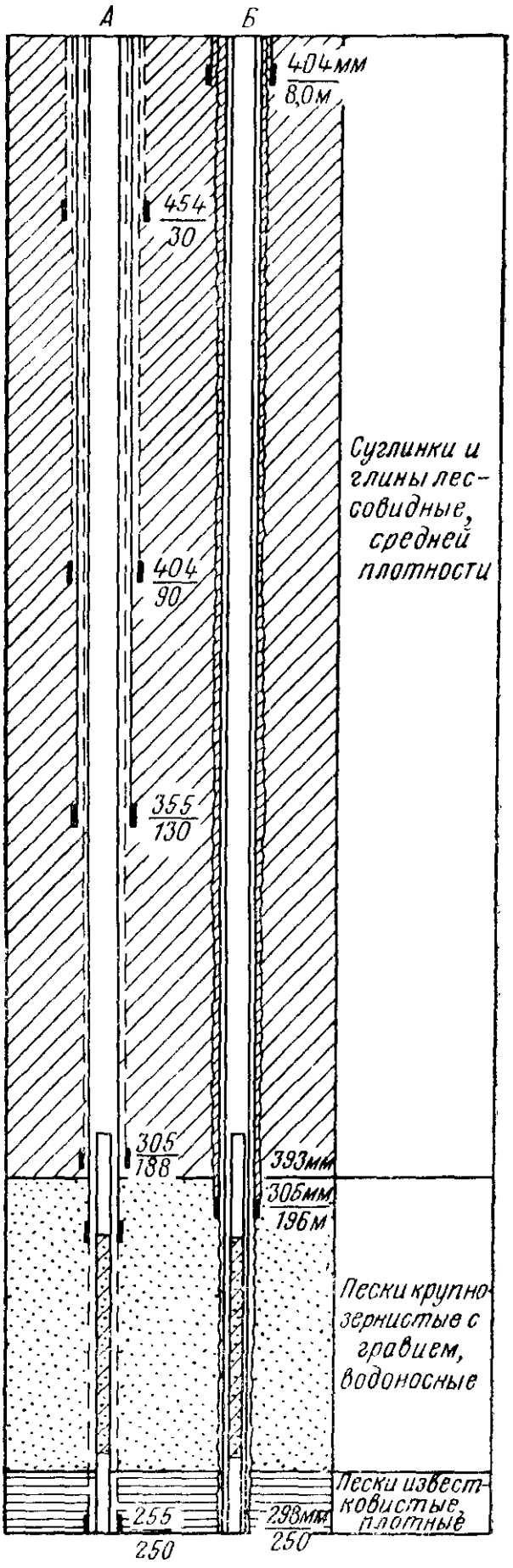



Рис. 39. Конструкция скважины глубиной 250 м

Обозначения те же, что на рис. 36

*Таблица 23*

| Показатели | Буровые установки | |
|---|---|---|
| | УРБ-3АМ | 1БА-15В |
| Тип установки | Самоходная | Самоходная |
| Диаметр бурения начальный, мм | 250 | 410 |
| Глубина бурения, м | 300, 500 | 500 |
| Диаметр проходного отверстия ротора, мм | 250 | 410 или 250 |
| Грузоподъемность, т | 5 | 12 (20) |
| Диаметр бурильных труб, мм | 60,3, 73 | 73 |
| Привод установки | Дизель Д-54 | Дизель ЯМЗ-236 |
| Мощность двигателя, л. с. | 54 | 105 |
| Подъемное устройство и его высота, м | Мачта складная, 16 | Мачта складная, 18,4 |
| Буровой насос | 11-ГрБ | 11-ГрБ |
| Масса установки, т | 6,85 (без автомобиля МАЗ-500) | 35,9 (вместе с автомобилем МАЗ-500) |

промывочного раствора с забоя. Вскрывать водоносный горизонт можно ударным способом.

Ударный механизм пневматический, съемного типа, установлен на лебедке бурового блока. Питается пневмоударник сжатым воздухом от компрессора, смонтированного на насосном блоке.

Основные блоки установки — буровой и насосный смонтированы на автошасси. Это дает возможность при двух автоприцепах перевезти за один рейс все главное оборудование УБВ-600.

Техническая характеристика УБВ-600 (установки для бурения скважин на воду глубиной до 600 м).

| | |
|---|---|
| Глубина бурения, м | 600 |
| Диаметры бурения, мм: | |
| начальный | 490 |
| конечный | 214 |
| Мощность приводная, л. с.: | |
| блока бурового | 150 |
| блока насосного | 150 |

*Примечание.* Блоки буровой и насосный приводятся в действие от ходовых двигателей автошасси КрАЗ-257, на которых смонтированы механизмы блоков.

Лебедка — двухбарабанная с пневматическим управлением

Грузоподъемность талевой системы при оснастке 4×3 т от 7,5 до 50 в зависимости от скорости

Ротор — Р-410

| | |
|---|---|
| Проходное отверстие, мм | 410 |
| Передаваемая мощность, л. с. | До 130 |
| Статическая нагрузка на стол, тс | 75 |
| Число скоростей вращения | 5 |

| | |
|---|---|
| Мачта телескопическая наклонная | |
| высота до оси кронблока, м | 22,4 |
| грузоподъемность при оснастке 4×3, т | 50 |
| емкость магазина палатей | 50 т, длиной 12 м |
| Насосы промывочные | 9МГр-61 |
| Количество | 2 |
| Производительность максимальная двух насосов, л/мин | 1920 |
| Давление максимальное, кгс/см² | 150 |
| Компрессор | КТ-7 |
| Производительность, м³/мин | 5,3 |
| Давление, кгс/см² | 8,5 |
| Мощность приводная, л. с. | 68 |
| Генератор синхронный, трехфазного тока, тип | ЕС83-6С |
| Мощность, кВт | 30 |
| Напряжение, В | 220/380 |
| Механизм ударный: | |
| тип — пневматический | |
| высота подъема инструмента, мм | До 800 |
| частота ударов в минуту | До 30 |
| масса поднимаемого груза, кг | До 1000 |
| Габаритные размеры в транспортном положении (длина×ширина×высота), мм: | |
| блока бурового 12460×2650×4160 | |
| блока насосного 10000×3000×3250 | |
| Масса блока, т | |
| бурового | 22,70 |
| насосного | 20,90 |
| Масса комплекта, т | Около 55,0 |

В последние годы в СССР и за рубежом ведут интенсивные исследовательские работы в области совершенствования качества промывочных растворов для роторного бурения. Одно из направлений этих работ — изыскание путей для замены многих общеизвестных вариаций состава глинистых растворов крахмальными растворами. Большие работы по этой теме были проведены лабораторией бурения на воду ВНИИГим им. А. Н. Костякова.

Для роторного бурения на воду полная замена глинистых промывочных растворов крахмальными растворами имела бы значение, которое трудно переоценить, так как крахмальные растворы по истечении некоторого времени имеют свойство распадаться. Таким образом, при освоении и внедрении в практику самораспадающихся крахмальных промывочных растворов был бы фактически устранен один из главных недостатков роторного бурения на воду — устойчивая закупорка водоносных горизонтов. Крахмальным промывочным раствором можно будет «задавать» вяжущие свойства на строго определенное время, по истечении которого промывочный раствор практически ничем не отличается от обычной воды. Само собой разумеется, что время, «заданное» такому раствору до его распада, должно быть достаточным для установки фильтра и полной подготовки к пробно-эксплуатационной откачке.

Главным препятствием для внедрения самораспадающихся растворов в практику в широких масштабах — относительная дороговизна сырья и определенная сложность технологии приготовления

крахмала. Но когда эти препятствия будут устранены, в частности, в качестве сырья будут использованы побочные отходы других производств, а экономика будет учтена в комплексе, в общегосударственном масштабе, с учетом тех убытков, которые причиняют ныне глинистые растворы за счет сдачи в эксплуатацию неполноценных или вовсе бракованных скважин, самораспадающиеся растворы бесспорно приведут к подлинной научно-технической революции в деле роторного бурения для целей водоснабжения.

## § 3. КОЛОНКОВЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ

Колонковый способ для бурения скважин на воду распространен незначительно в основном вследствие малых диаметров забойного инструмента, в результате чего ограничиваются возможности оборудования скважин фильтрами нужного диаметра, а также опробования и установки водоподъемников соответствующей производительности.

Кроме того, широкому распространению колонкового бурения для гидрогеологических целей препятствуют конструктивные особенности станков и забойного инструмента, вызывающие осложнения при бурении в часто чередующихся слоях крепких и рыхлых, а также водоносных и водоупорных пород.

Между тем колонковый способ может довольно успешно применяться при бурении на воду в достаточно однородных устойчивых, мелкотрещиноватых скальных породах, особенно при бурении разведочных скважин на большую глубину.

Одним из основных преимуществ колонкового бурения является возможность обеспечения высокого качества геолого-литологической документации скважины по извлекаемому керну.

Колонковый способ можно применять при бурении скважин:

а) под эксплуатационную колонну небольшого диаметра;

б) любой глубины в однородных скальных породах большой мощности;

в) бесфильтровых (в скальных трещиноватых породах);

г) эксплуатируемых самоизливом.

## Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы о применимости различных способов бурения при сооружении одиночных разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения.

Ударно-канатный способ целесообразнее применять при:

а) бурении скважин в районах, недостаточно изученных в геологическом и гидрогеологическом отношении;

б) необходимости предварительного и раздельного опробования водоносных горизонтов в процессе бурения;

в) вскрытии и проходке водоносных горизонтов любой мощности и производительности, независимо от их гидравлического состояния,

а также при частом чередовании водоносных и водоупорных слоев, если глубины скважин доступны для бурения станками ударного способа;

г) проведении работ в районах, где трудно или невозможно организовать водоснабжение для промывки скважины в процессе бурения;

д) бурении скважин глубиной до 150 м;

е) бурении скважин с большим и более 500 мм начальным диаметром.

Роторный способ следует применять при:

а) хорошо изученном геолого-гидрогеологическом разрезе участка бурения;

б) необходимости вскрытия заранее разведанных и опробованных водоносных горизонтов, для которых имеется подробная характеристика качества и количества воды;

в) условии, что эти горизонты характеризуются водообилием и большими напорами;

г) возможности последующего проведения каротажа скважины;

д) возможности незамедлительной организации работ по восстановлению водоотдачи горизонта;

е) возможности беспрерывного и недорогого снабжения водой и глиной высокого качества;

ж) надлежащем утеплении бурового агрегата во время морозов;

з) бурении скважин глубиной более 150 м;

и) при использовании водоносных горизонтов песков, залегающих на разных глубинах и при отсутствии в их кровле связных и скальных пород, категория буримости которых не выше IV.

*ГЛАВА IX*

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ

Основные параметры и элементы конструкции разведочно-эксплуатационной скважины (рис. 40) следующие: а) глубина; б) диаметр, длина (глубина спуска) и количество колонн обсадных труб; в) специальные устройства (сплошные затрубные цементные кольца, манжетные цементные кольца, зажимы, сальники, переводники и пр.); г) водоприемная часть.

Конструкция разведочно-эксплуатационной скважины определяется гидрогеологическими условиями, способами бурения, а также требованиями эксплуатации и санитарной охраны.

От глубины скважины зависят ее начальный и конечный диаметры. В то же время эксплуатационный или рабочий диаметр скважины должен соответствовать диаметру намечаемого эксплуатационного водоподъемника, а конечный ее диаметр — водопропускной способности фильтра. Конструкция фильтра зависит от литологического состава водоносного горизонта и его водопроницаемости.

Очень часто устанавливают потайной фильтр. В таких условиях в зависимости от предполагаемой глубины динамического уровня необходимо точно определить положение насоса в скважине с расчетом, чтобы он находился выше фильтра. В других случаях в зависимости от геологического разреза фильтр должен быть установлен на колонне труб того же диаметра, выходящей на поверхность земли. При этом неизбежна так называемая потеря диаметра эксплуатационной

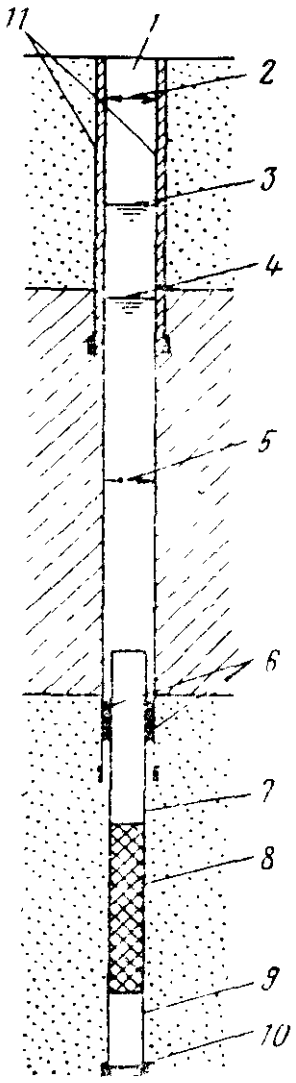



Рис. 40. Основные элементы конструкции разведочно-эксплуатационной скважины:

*1* — устье скважины; *2* — первая обсадная колонна; *3* — статический уровень воды; *4* — динамический уровень воды; *5* — эксплуатационная колонна; *6* — сальник; *7* — надфильтровая колонна; *8* — рабочая часть фильтра; *9* — отстойник; *10* — пробка; *11* — цементный стакан

колонны. Это необходимо принимать во внимание при подборе габаритов намечаемого водоподъемника.

Глубина спуска обсадных колонн, количество их и отчасти диаметр зависят в основном от способов бурения скважины и цементирования затрубных и междутрубных пространств.

Основные требования к конструкции разведочно-эксплуатационных скважин таковы.

1. Конструкцию скважины следует выбирать из расчета требуемого дебита воды при минимальной глубине динамического уровня, возможного в существующих гидрогеологических условиях при данной глубине скважины.

2. Диаметр эксплуатационной колонны должен быть достаточным для оборудования скважины выбранным насосом с производительностью, соответствующей расчетному расходу воды.

3. Качество воды, получаемой из скважины, должно соответствовать составу воды выбранного водоносного горизонта, поэтому в ствол скважины не должны проникать поверхностные воды и воды из других водоносных горизонтов.

4. В водоприемную часть скважины при эксплуатации не должны проникать глинистые и песчаные частицы из окружающих пород; при использовании воды трещиноватых скальных пород стенки приемной части бесфильтровой скважины должны быть устойчивыми.

5. Необходимо своевременно принять меры для предупреждения образования каверн в обсадных трубах для того, чтобы срок нормальной эксплуатации скважины был возможно более продолжительным.

6. Конструкция скважины должна быть несложной, удобной в эксплуатации и при проведении работ по ее ремонту и восстановлению.

Учитывая перечисленные условия и требования, следует исходить из следующих положений при проектировании конструкции разведочно-эксплуатационной скважины.

## § 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ СКВАЖИНЫ

Глубину скважины намечают, исходя из максимально возможной глубины залегания кровли водоносного горизонта, выбранного для эксплуатации; водоносный горизонт надо вскрывать на такую глубину, чтобы получить расчетный дебит. Если в процессе бурения окажется, что в проекте предусмотрена излишняя глубина, то работу можно прекратить раньше, чем запроектировано. Очень важно, чтобы водоприемная часть скважины находилась в интервале, в котором породы имеют максимальную водопроницаемость. Глубина залегания этого интервала должна быть установлена на основе изучения гидрогеологических условий района и уточнена в процессе бурения.

Если проектируют скважину с небольшим расчетным расходом на водоносный горизонт, с большой водопроницаемостью, то нет необходимости вскрывать его на значительную глубину. В этом случае бывает достаточно вскрыть водоносный горизонт на 5—10 м

ниже кровли. Но чем меньше водопроницаемость пород, тем на большую глубину нужно вскрыть горизонт.

Если мощность водоносного горизонта невелика, то скважину следует несколько заглубить в породы водоупорной подошвы с тем, чтобы ниже ее приемной части был устроен отстойник длиной до 2 м.

Иногда необходимо углублять скважину в породы водоупорной подошвы для оборудования ее воздушным подъемником, чтобы обеспечить нормальное погружение водоподъемных и воздухопроводных труб. При этом за счет так называемого «кармана» можно спускать воздухопроводные трубы подъемника ниже динамического уровня воды с наиболее выгодным коэффициентом погружения.

Однако когда предполагается или есть данные о том, что нижняя часть водоносного горизонта или подстилающие его породы содержат воду повышенной минерализации, углублять разведочно-эксплуатационную скважину нужно осторожно. В проекте необходимо указывать, что при бурении скважины для определения химического состава с различных глубин должны быть отобраны пробы воды. Интервалы взятия проб устанавливаются от 1 до 5 м в зависимости от предполагаемой интенсивности изменения состава воды. Бурение скважины должно быть прекращено при повышении минерализации воды.

При анализе воды можно определять только те компоненты, которые в основном обусловливают минерализацию подземных вод в данном районе. Обычно определяют только хлориды и сульфаты (приближенным методом).

Нижнюю часть скважины, в которую поступают минерализованные воды, не всегда можно изолировать стаканом из глухих обсадных труб, этого особенно трудно достичь, когда пьезометрический уровень минерализованных вод находится выше пьезометрического уровня вод, вскрытых в верхних частях водоносного горизонта. Приток минерализованных вод может быть практически устранен только цементированием ее нижней части.

## § 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ДИАМЕТРА СКВАЖИНЫ

Эксплуатационный диаметр скважины, т. е. ее диаметр в пределах глубины погружения насоса, должен быть достаточным для установки выбранного насоса, обеспечивающего требуемую подачу воды.

Эксплуатационные диаметры скважин со средними и большими расходами воды целесообразно принимать, исходя из расчета оборудования их глубинными погружными насосами. В настоящее время эти насосы по эксплуатационным и санитарным показателям наиболее совершенны.

Проектирование скважин с расчетом оборудования их обычными центробежными насосами с горизонтальной осью оправдывается только тогда, когда динамический уровень воды в скважине будет находиться выше поверхности земли или на глубине 4—5 м и имеется

уверенность, что этот уровень в процессе эксплуатации не снизится.

Если намечается установка глубинного насоса с длинным приводным валом, эксплуатационный диаметр скважины следует проектировать на 100 мм больше минимально допустимого. Монтаж насоса особенно в несколько искривленных скважинах, проведение ремонта скважины, наблюдения за положением динамического уровня воды при эксплуатации облегчаются с увеличением эксплуатационного диаметра.

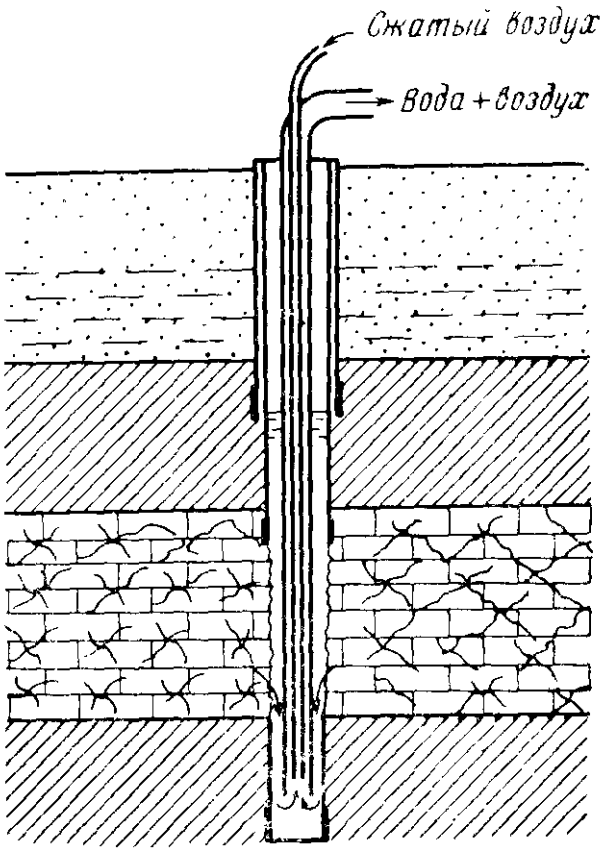


Рис. 41. Схема оборудования скважины эрлифтом

Если всасывающее отверстие водоподъемника находится в приемной части скважины или ниже ее, как это часто бывает при откачке воздушным водоподъемником (рис. 41), то между наружными стенками водоподъемной трубы и стенками скважины должны быть достаточное пространство для пропуска соответствующего количества воды из приемной части к отверстию водоподъемной трубы с допустимой скоростью. Размеры этого зазора должны быть установлены специальным расчетом.

Учитывая возможное снижение статического и динамического уровней воды по различным причинам (многолетнее изменение уровня подземных вод, развитие депрессионной воронки и т. д.), эксплуатационный диаметр нужно сохранять ниже всасывающего отверстия водоподъемника до возможно большей глубины (на 15—20 м и более в зависимости от конкретных условий).

## § 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЕЧНОГО ДИАМЕТРА СКВАЖИНЫ

Конечный диаметр и диаметр приемной части в основном зависят от глубины скважины и принятого эксплуатационного диаметра. При данном эксплуатационном диаметре для облегчения притока воды в скважину из водоносного горизонта и увеличения ее водообильности нужно стремиться сохранить возможно большими конечный диаметр и диаметр приемной части. Иногда независимо от необходимого эксплуатационного диаметра для обеспечения установки фильтровой колонны принятой конструкции приходится увеличивать конечный диаметр.

Как указывалось в главе III, при диаметре приемной части меньше 150 мм водообильность скважины сильно уменьшается,

поэтому только для скважин с относительно небольшими расчетными расходами можно проектировать диаметры приемной части меньше 150 мм.

## § 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА КОЛОНН ОБСАДНЫХ ТРУБ, ИХ ДИАМЕТРОВ И ГЛУБИНЫ СПУСКА

Эти элементы конструкции водозаборной скважины в основном зависят от глубины залегания кровли водоносного горизонта, состава покрывающих его пород, принятого эксплуатационного диаметра скважины и способов ее бурения.

Количество колонн обсадных труб и глубина их спуска имеют большое значение для обеспечения технической и санитарной надежности водозаборной скважины во время ее эксплуатации. При правильном креплении скважины обсадными трубами удлиняется срок ее службы и обеспечивается постоянство состава откачиваемой воды.

При бурении нарушается естественная защищенность водоносного горизонта, так как облегчается проникновение в него поверхностных вод и вод из вышележащих водоносных слоев по затрубным и междутрубным пространствам скважин. Крепление скважины обсадными трубами должно устранить проникновение указанных вод в скважину и в водоносный горизонт. Эта задача решается различно в зависимости от мощности и состава пород, покрывающих намеченный к использованию водоносный горизонт, а также от способа бурения.

При ударном способе бурения среднюю величину выхода каждой колонны можно принимать в пределах 25—30 м*, в зависимости от ее диаметра. Следует иметь в виду, что даже при особо благоприятных условиях, например при бурении скважин в породах, одинаковых по составу, устойчивых по сложению и легко проходимых по категории буримости, выход отдельной колонны диаметром 203—255 мм редко может достигать 60 м и лишь в исключительных случаях превышать 70 м (как, например, в г. Харькове при проходке мелов или в Краснодарском крае при проходке лессовидных суглинков).

Для однообразных толщ выход колонны увеличивается, а при частом переслаивании пород различного литологического состава, особенно при чередовании рыхлых и связных пород, он резко уменьшается.

При проектировании конструкции скважины необходимо предусматривать внедрение башмака каждой колонны труб в водоупорные породы, за исключением последней эксплуатационной колонны, башмак которой должен входить в водоносную породу на 1—3 м

---

* *При бурении с применением так называемой тиксотропной «рубашки» указанные величины могут быть увеличены в 2—3 раза с поправкой на диаметры колонн.*

ниже водоупорной кровли. Эти требования обусловливаются следующими обстоятельствами.

1. При переходе на бурение другого диаметра в водоносной породе, особенно в мелкозернистых песках, обладающих свойствами плывунов, часто возникают явления «спаривания» колонн обсадных труб в результате заклинивания их мелкими частицами породы. Избежать этого довольно трудно, поэтому, если необходимо менять диаметр именно в рыхлых водоносных породах, при проектировании конструкции скважины следует (даже при наличии колонн с обточенными муфтами) предусматривать переход не на очередной диаметр, а через один диаметр (например, с 305 мм переходить не на 255 мм, а на 203 мм). Таким образом, начальный диаметр скважины нужно намечать на один диаметр больше.

2. Пьезометрический уровень воды напорного водоносного горизонта часто находится ниже уровня воды вышележащих водоносных слоев. При эксплуатации скважины разность этих уровней становится еще больше, в результате чего в затрубном пространстве создаются условия для движения воды сверху вниз. Это происходит при неплотном сопряжении стенок обсадных труб с окружающими глинистыми породами или при наличии небольших трещин в глинах, образовавшихся во время бурения. В процессе эксплуатации скважины вследствие размыва глин в затрубных пространствах образуются полости, открытые или заполненные песком, через которые в приемную часть скважины проникают воды из вышележащих отложений. Эти воды бывают загрязнены или в их составе содержатся вещества (например, железо), ухудшающие качество воды в скважине, поэтому колонны обсадных труб должны быть забиты в глины возможно более плотно.

Когда скважиной намечено вскрыть напорный водоносный горизонт, в кровле которого залегает толща водоупорных глин мощностью 5—10 м и более, то при ударном способе бурения крепить скважину нужно не менее чем двумя колоннами обсадных труб. Одна из них должна быть забита в глину на 3—5 м и более ниже ее кровли, а вторая должна войти в породы водоносного горизонта (рис. 42).

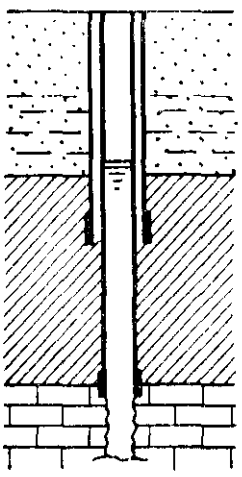


Рис. 42. Крепление скважины трубами при ударно-канатном способе бурения

Если кровля глин, покрывающих водоносный горизонт, залегает глубже возможного предела выхода обсадной колонны, то в проекте необходимо предусматривать спуск еще одной — двух колонн обсадных труб. Эти колонны желательно также останавливать в слоях вышележащих глин.

Для экономии обсадных труб или увеличения эксплуатационного диаметра скважины внутренние колонны иногда опускают «впотай», т. е. не выводят их на поверхность земли. Это достигается отвинчиванием колонн, опущенных с переводником с левой нарезкой, установленным заранее на определенной

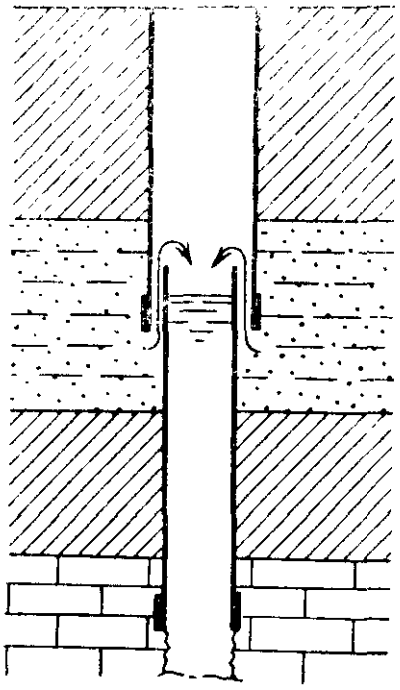


Рис. 43. Проникновение вод верхнего водоносного горизонта в ствол скважины по затрубному пространству обсадной трубы, опущенной «телескопически»

глубине, или вырезкой труб. Это усложняет конструкцию скважины, кроме того, в кольцевой зазор между вырезанной и предыдущей колонной могут проникать воды или рыхлые горные породы, находящиеся в затрубном пространстве скважины (рис. 43). В кольцевом зазоре между обсадными колоннами при этом следует предусматривать устройство сальника. Обсадная колонна, опущенная «впотай», в предыдущую колонну должна заходить не менее чем на 3 м при глубине скважины до 50 м и не менее чем на 5 м при большей ее глубине (СН 325—65).

При отсутствии в породах, покрывающих водоносный горизонт, достаточно мощных прослоев глин в которые можно плотно забить обсадные трубы, скважины трудно предохранить от загрязнения, так как нельзя исключить проникновение грунтовых и других находящихся выше вод по затрубному пространству. Поэтому необходимо выбирать место для бурения с наиболее благоприятными санитарными условиями.

Если породы кровли водоносного горизонта представлены скальными или полускальными разностями (известняками, песчаниками, аргиллитами, мергелями и т. д.), затрубное пространство рекомендуется заливать цементом сверху, так как между стенками скважины и обсадными трубами образуются свободные пространства.

Грунтовые воды часто характеризуются способностью интенсивно корродировать обсадные трубы вследствие наличия в них растворенного кислорода, свободной углекислоты и т. п. Эта способность особенно свойственна загрязненным грунтовым водам, имеющим кислую реакцию. Под влиянием коррозирующего действия таких вод в обсадных трубах образуются каверны, через которые загрязненные грунтовые воды проникают в ствол скважины. Иногда через эти каверны в скважину проникают также и водоносные пески, в результате скважина выходит из строя. Иногда сквозные каверны в обсадных трубах образовывались через несколько месяцев после сооружения скважины.

Наиболее часто каверны образуются в зоне, в пределах которой изменяется уровень грунтовых вод, так как здесь обсадные трубы находятся в условиях переменного смачивания и окисления. Для увеличения срока работы скважины необходимо крепить ее верхнюю часть, подвергающуюся воздействию грунтовых вод, двумя колоннами труб. Кроме того, следует рекомендовать также межтрубное цементирование между первой и второй колоннами; при этом ширина кольцевого зазора должна быть не менее 50 мм.

Крепление артезианских скважин одной колонной обсадных труб можно допускать только тогда, когда проектируется роторное бурение и затрубное цементирование колонны от башмака до устья.

При использовании грунтовых вод, не перекрытых водоупорными породами, труднее изолировать ствол скважины от проникновения в него поверхностных вод, особенно если водоносны трещиноватые скальные породы. Если эти породы покрыты слоем глины и суглинка мощностью 2—5 м, то следует пройти шурф до кровли скальных пород, а после окончания бурения скважины тщательно затрамбовать его чистой жирной глиной (рис. 44). Этим достигается плотное сопряжение стенки обсадной трубы с окружающими водоупорными породами. При отсутствии в начале разреза глин или суглинков затрубное пространство обсадной трубы нужно также зацементировать с двумя пробками до устья.

Существующая практика полного извлечения обсадных труб из таких скважин и оставление в них одной фильтровой колонны недопустима по санитарным условиям. На рис. 45 показаны примеры правильной (*а*) и неправильной (*б*) конструкций стволов скважин, использующих грунтовые воды песчаных пород.

При бурении скважин в районах со сложными или слабо изученными гидрогеологическими условиями, особенно когда водоносный горизонт ожидается на большой глубине, рекомендуется исходить не из требуемых конечного и эксплуатационного диаметров, а прини-

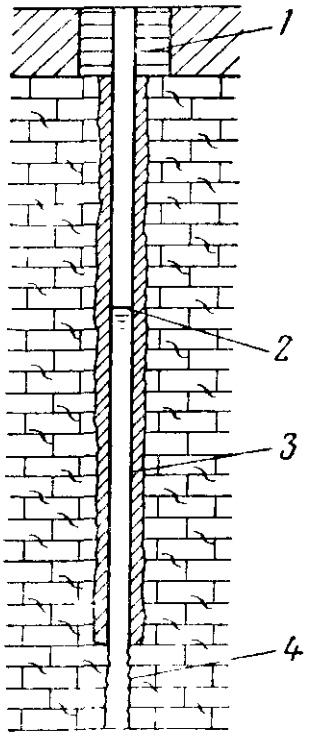



Рис. 44. Крепление скважины обсадными трубами при эксплуатации грунтовых вод в трещиноватых породах:

*1* — шурф, затампонированный глиной; *2* — статический уровень воды; *3* — затрубная цементация; *4* — водоприемная часть скважины (необсаженная)

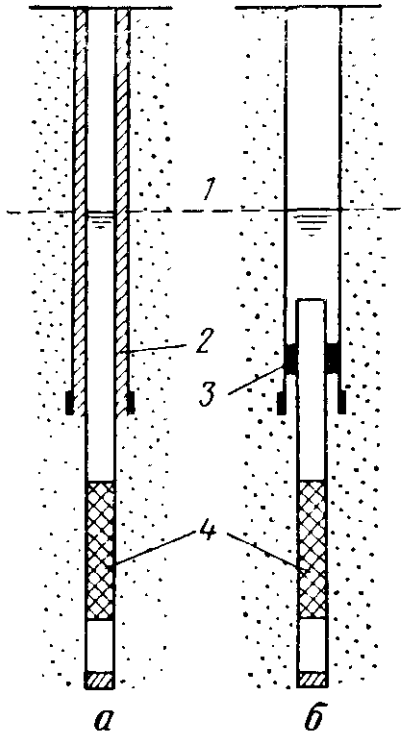



Рис. 45. Крепление скважин обсадными трубами при эксплуатации грунтовых вод в песчаных породах:

*а* — правильное; *б* — неправильное.

*1* — статический уровень воды; *2* — междутрубная цементация; *3* — сальник; *4* — фильтр

мать конструкцию с начальным диаметром на один диаметр больше (например, вместо 377 мм принимать 426 мм и т. д.).

Опыт показывает, что в таких условиях запроектированные диаметры скважин часто не удается сохранить из-за различных причин: встречи слоя твердой породы, крупных валунов, неустойчивых песков, дающих в скважинах пробку, и т. д.

При роторном способе бурения конструкции неглубоких (до 100 м) скважин могут быть проще, чем при ударном способе. Это обусловлено тем, что выход одной обсадной колонны значительно больше, чем при ударном бурении. Кроме того, оборудование для роторного бурения рассчитано на цементирование затрубных пространств обсадных колонн.

Скважины при бурении роторным способом в зависимости от их глубины могут иметь следующие конструкции.

Всегда следует предусматривать установку направления до глубины 4—6 м от поверхности земли. После этого необходимо проектировать бурение скважины под колонну обсадных труб. Если намеченный для опробования и эксплуатации водоносный горизонт залегает неглубоко от поверхности земли (80—100 м), то можно проектировать одноколонную конструкцию. После спуска колонны и цементирования затрубного пространства от башмака до устья следует намечать вскрытие водоносного горизонта.

Если же скважина проектируется на более глубоко залегающий водоносный горизонт (200—300 м) и при этом необходимо также сохранить значительным эксплуатационный диаметр скважины, то следует предусматривать конструкцию с тремя и даже четырьмя колоннами (см. рис. 38). При этом, кроме установки направления, необходимы спуск кондуктора на глубины 40—50 м, промежуточной колонны на глубину 140—150 м и эксплуатационной колонны на глубину 250—300 м (эти величины приведены условно: глубина спуска отдельных колонн должна сочетаться с конкретным геологическим разрезом и гидрогеологическими условиями).

В проекте должно быть обязательно предусмотрено цементирование кондуктора и эксплуатационной колонны; в зависимости от конкретных условий промежуточные колонны можно не цементировать.

Такая многоколонность конструкций скважин на воду, проектируемых для бурения роторным способом, и относительно небольшие выходы колонн по сравнению с конструкциями скважин значительно большей глубины, проходимых для вскрытия нефтяных месторождений, объясняются следующими причинами.

Станки и двигатели, используемые для бурения нефтяных скважин, более мощные, чем станки и двигатели, применяемые при бурении разведочно-эксплуатационных скважин на воду роторным способом. Кроме того, эксплуатационные диаметры нефтяных скважин обычно равны 168 и 127 мм, а иногда даже 102 мм, тогда как эксплуатационные диаметры сравнительно глубоких скважин на воду нередко достигают 273 и 326 мм.

Это обусловливает применение забойного инструмента большого диаметра, так как по технологии роторного бурения диаметры забойного инструмента должны превышать наружные диаметры обсадных колонн не менее чем на 100 мм, а при значительных выходах колонн — на 150—200 мм. Так, для спуска в скважину колонны обсадных труб диаметром 377 мм (внутренний диаметр 355 мм) под эту колонну следует бурить долотом диаметром 445 мм, а для спуска колонны диаметром 219 мм (внутренний диаметр 203 мм) — долотом диаметром 295 мм.

В то же время станки, выпускаемые в настоящее время серийно и применяемые для бурения скважин на воду роторным способом, конструировались для иных целей и не рассчитаны на работу инструментом большого диаметра. В связи с этим проходные отверстия стола ротора у них не достаточны для пропуска забойного инструмента соответствующего диаметра и работа тяжелым снарядом для обеспечения значительного выхода колонны большого диаметра может вызвать поломки и аварии.

Только в самое последнее время вошли в серийное производство тяжелые роторные станки, предназначенные специально для бурения на воду 1БА-15В и УБВ-600, однако и у них проходные отверстия стола ротора составляют 410 мм.

При проектировании скважин для роторного бурения надо чередовать колонны не менее чем через один диаметр (например, 426—325—219 мм; 508—426—325—219 мм; 377—273—168 мм).

Необходимо цементировать колонну (особенно при одноколонной конструкции) от башмака до устья. Таким образом, вокруг обсадной колонны создается сплошное цементное кольцо, которое обеспечивает плотное сопряжение наружного периметра трубы с окружающими породами и защищает обсадные трубы от коррозии их грунтовыми водами (рис. 46). Высоту цементирования других колонн (считая снизу от башмака) нужно определять, исходя из действительной необходимости и реальных возможностей с учетом имеющегося оборудования, производительности насосов и мощности цементировочных агрегатов. Во всяком случае следует стремиться, чтобы эта высота была возможно большей.

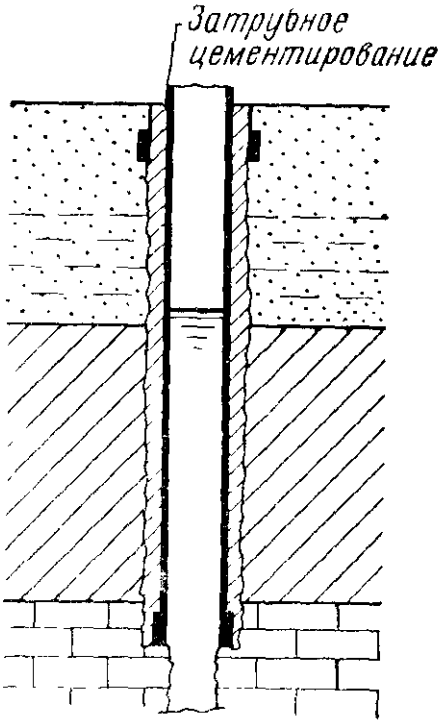



Рис. 46. Крепление скважины обсадными трубами при роторном способе бурения

Расход сухого тампонажного цемента на 1 м цементирования затрубного пространства скважин при роторном способе бурения можно определять по табл. 24, однако в ней не учтен расход цемента на раструску и другие потери, а также на увеличение диаметра скважины при бурении по сравнению с диаметром применяемого долота. Этот расход

*Таблица 24*

**Норма расхода сухого цемента для заполнения 1 м затрубного пространства цементным раствором, т**

| Конструкция (условный диаметр) долот и обсадных колонн, мм | Объем 1 м затрубного пространства, м³ | Коэффициенты запаса | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1,00 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,60 |
| *При водо-цементном отношении 0,50* | | | | | | | | | | | | | |
| 610—478 | 0,09390 | 0,114 | 0,125 | 0,131 | 0,137 | 0,142 | 0,148 | 0,154 | 0,160 | 0,166 | 0,172 | 0,178 | 0,184 |
| 540—478 | 0,04955 | 0,060 | 0,066 | 0,069 | 0,072 | 0,075 | 0,078 | 0,081 | 0,084 | 0,087 | 0,090 | 0,093 | 0,096 |
| 490—426 | 0,04602 | 0,056 | 0,062 | 0,064 | 0,067 | 0,070 | 0,073 | 0,076 | 0,079 | 0,082 | 0,085 | 0,088 | 0,091 |
| 455—377 | 0,04388 | 0,053 | 0,058 | 0,061 | 0,064 | 0,066 | 0,069 | 0,072 | 0,075 | 0,078 | 0,081 | 0,084 | 0,087 |
| 394—324 | 0,03894 | 0,047 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,059 | 0,061 | 0,063 | 0,065 | 0,067 | 0,069 | 0,072 | 0,074 |
| 370—299 | 0,03729 | 0,045 | 0,050 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,061 | 0,063 | 0,065 | 0,067 | 0,069 | 0,072 |
| 346—273 | 0,03547 | 0,043 | 0,047 | 0,049 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,060 | 0,062 | 0,064 | 0,066 | 0,068 |
| 320—245 | 0,03326 | 0,040 | 0,044 | 0,046 | 0,048 | 0,050 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,060 | 0,062 | 0,064 |
| 295—219 | 0,03066 | 0,037 | 0,041 | 0,043 | 0,044 | 0,046 | 0,048 | 0,050 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,060 |
| *При водо-цементном отношении 0,45* | | | | | | | | | | | | | |
| 295—168 | 0,04616 | 0,060 | 0,066 | 0,069 | 0,072 | 0,075 | 0,078 | 0,081 | 0,084 | 0,087 | 0,090 | 0,093 | 0,096 |
| 269—168 | 0,03461 | 0,045 | 0,050 | 0,052 | 0,054 | 0,056 | 0,058 | 0,060 | 0,062 | 0,064 | 0,066 | 0,068 | 0,070 |
| 243—168 | 0,02420 | 0,032 | 0,035 | 0,037 | 0,038 | 0,040 | 0,042 | 0,044 | 0,046 | 0,048 | 0,050 | 0,052 | 0,054 |
| 214—146 | 0,01922 | 0,025 | 0,028 | 0,029 | 0,030 | 0,031 | 0,032 | 0,033 | 0,034 | 0,035 | 0,036 | 0,037 | 0,038 |
| 190—146 | 0,01161 | 0,015 | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,019 | 0,020 | 0,021 | 0,022 | 0,023 | 0,024 | 0,025 | 0,026 |

*Таблица 25*

## Трубы обсадные цельнотянутые и муфты к ним (по ГОСТ 632-64)

| Трубы | | | | Муфты | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| наружный диаметр, мм | толщина стенки, мм | внутренний диаметр, мм | теоретическая масса 1 м, кг | наружный диаметр, мм | длина, мм | масса, кг |
| 114 | 6 | 102 | 16 | 133 | 191 | 6,3 |
| | 7 | 100 | 18,5 | | | |
| | 8 | 98 | 20,9 | | | |
| | 9 | 96 | 23,3 | | | |
| 127 | 6 | 115 | 17,9 | 147 | 191 | 7,3 |
| | 7 | 113 | 20,7 | | | |
| | 8 | 111 | 23,5 | | | |
| | 9 | 109 | 26,2 | | | |
| 141 | 6 | 129 | 20 | 166 | 191 | 8,7 |
| | 7 | 127 | 23,1 | | | |
| | 8 | 125 | 26,2 | | | |
| | 9 | 123 | 29,3 | | | |
| | 10 | 121 | 32,3 | | | |
| | 11 | 119 | 35,3 | | | |
| | 12 | 117 | 38,4 | | | |
| 146 | 6 | 134 | 20,7 | 166 | 191 | 8,7 |
| | 7 | 132 | 24 | | | |
| | 8 | 130 | 27,2 | | | |
| | 9 | 128 | 30,4 | | | |
| | 10 | 126 | 33,5 | | | |
| | 11 | 124 | 36,6 | | | |
| | 12 | 122 | 39,7 | | | |
| 159 | 6 | 147 | 22,6 | 179 | 191 | 9 |
| | 7 | 145 | 26,2 | | | |
| | 8 | 143 | 29,8 | | | |
| | 9 | 141 | 33,3 | | | |
| | 10 | 139 | 36,7 | | | |
| | 11 | 137 | 40,1 | | | |
| | 12 | 135 | 43,5 | | | |
| 168 | 6 | 156 | 24 | 188 | 191 | 9,3 |
| | 7 | 154 | 27,8 | | | |
| | 8 | 152 | 21,6 | | | |
| | 9 | 150 | 35,3 | | | |
| | 10 | 148 | 39 | | | |
| | 11 | 146 | 42,6 | | | |
| | 12 | 144 | 46,2 | | | |
| | 13 | 142 | 49,7 | | | |
| | 14 | 140 | 53,2 | | | |
| 194 | 8 | 178 | 36,7 | 216 | 203 | 12,5 |
| | 9 | 176 | 41,1 | | | |
| | 10 | 174 | 45,4 | | | |
| | 11 | 172 | 49,6 | | | |

| Трубы | | | | Муфты | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| наружный диаметр, мм | толщина стенки, мм | внутренний диаметр, мм | теоретическая масса 1 м, кг | наружный диаметр, мм | длина, мм | масса, кг |
| 194 | 12<br>13<br>14 | 170<br>168<br>166 | 53,9<br>58<br>62,2 | 216 | 203 | 12,5 |
| 219 | 7<br>8<br>9<br>11<br>12,5 | 205<br>203<br>200<br>197<br>194 | 36,6<br>41,6<br>49,1<br>56,4<br>63,7 | 243 | 203 | 15 |
| 245 | 7<br>8<br>9,5<br>11<br>12,5 | 231<br>229<br>226<br>223<br>220 | 41,1<br>46,8<br>55,2<br>63,5<br>71,7 | 269 | 203 | 17,3 |
| 273 | 9<br>10,5<br>12 | 255<br>252<br>249 | 58,6<br>68<br>77,2 | 298 | 216 | 21,5 |
| 299 | 9<br>10<br>11<br>12 | 281<br>279<br>277<br>275 | 64,4<br>71,3<br>78,1<br>84,9 | 325 | 216 | 24,3 |
| 325 | 9<br>10<br>11<br>12 | 307<br>305<br>303<br>301 | 70,1<br>77,7<br>85,2<br>92,6 | 351 | 229 | 28 |
| 351 | 10<br>11<br>12 | 331<br>329<br>327 | 84,1<br>92,2<br>100,3 | 376 | 229 | 29 |
| 377 | 10<br>11<br>12 | 357<br>355<br>353 | 90,5<br>99,3<br>108 | 402 | 229 | 31 |
| 426 | 10<br>11<br>12 | 406<br>404<br>402 | 102,7<br>112,6<br>122,5 | 451 | 229 | 35 |
| 508 | 11 | 486 | 135 | 533 | 228 | 44,6 |

*Примечания*: 1. При вычислении теоретической массы относительная масса стали принята равной 7,85.

2. Условное обозначение обсадной трубы диаметром 168 мм с толщиной стенки 12 мм: труба 168×12, ГОСТ 632-64.

составляет около 25% расхода сухого цемента, указанного в табл. 24.

При определении диаметров обсадных труб (табл. 25 и 26), необходимых для крепления скважин, нужно принимать в расчет эксплуатационный и конечный диаметры скважины, количество и вес обсадных для данного вида бурения (принимая во внимание также технические возможности станков) и приведенные ранее эксплуатационные и санитарные требования.

*Таблица 26*

**Трубы стальные электросварные (по ГОСТ 10704-63)**

| Наружный диаметр, мм | Толщина стенки, мм | Внутренний диаметр, мм | Масса 1 м трубы, кг | Наружный диаметр, мм | Толщина стенки, мм | Внутренний диаметр, мм | Масса 1 м трубы, кг |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 426 | 7 | 412 | 72,3 | 630 | 8 | 614 | 122,7 |
| | 8 | 410 | 82,5 | | 9 | 612 | 137,8 |
| | 9 | 408 | 92,6 | | 10 | 610 | 152,9 |
| | 10 | 406 | 102,6 | | 11 | 608 | 167,9 |
| | 11 | 404 | 112,6 | | 12 | 606 | 182,9 |
| | 12 | 402 | 122,5 | | — | — | — |
| 478 | 7 | 464 | 81,3 | 720 | 9 | 702 | 157,8 |
| | 8 | 462 | 92,7 | | 10 | 700 | 175,1 |
| | 9 | 460 | 104,1 | | 11 | 698 | 192,3 |
| | 10 | 457 | 115,4 | | 12 | 696 | 209,5 |
| | 11 | 456 | 126,7 | | — | — | — |
| | 12 | 454 | 137,9 | | — | — | — |
| 529 | 8 | 513 | 102,8 | 820 | 9 | 802 | 180 |
| | 9 | 511 | 115,4 | | 10 | 800 | 199,8 |
| | 10 | 509 | 128 | | 11 | 798 | 219,5 |
| | 11 | 507 | 140,5 | | 12 | 796 | 239,1 |
| | 12 | 505 | 153 | | — | — | — |

## § 5. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫМИ ТРУБАМИ

В последнее время при сооружении разведочно-эксплуатационных скважин, особенно для водоснабжения в сельском хозяйстве, используют асбестоцементные обсадные трубы. Опыт показывает, что успешно обсаживать асбестоцементными трубами можно при глубине скважин 100—120 м и сравнительно несложных геолого-гидрогеологических условиях.

Основным условием, необходимым для сооружения скважины, обсаженной асбестоцементными трубами, является бурение ее роторным способом.

Применение асбестоцементных труб при ударном способе практически себя не оправдало, так как при этом осложняется проведение

работ и намного повышается их стоимость. В скважины, пробуренные ударным способом, асбестоцементные трубы можно опускать только внутрь стальной обсадной колонны, которую затем нужно извлекать. При таком проведении работ приходится бурить скважины значительно большего диаметра. Кроме того, нужно принимать особые меры предосторожности при подъеме колонны стальных труб, так как асбестоцементные трубы очень хрупкие.

При проектировании скважины для бурения роторным способом с последующим обсаживанием асбестоцементными трубами, а затем оборудованием ее водоподъемником надо учитывать, что эти трубы имеют иные размеры, чем стальные обсадные трубы по ГОСТ 632-64.

Как видно из табл. 27, внутренние диаметры асбестоцементных труб на 20—40 мм меньше внутренних диаметров стальных труб, которые имеют наружный диаметр, одинаковый или почти одинаковый со стальными. В связи с этим в скважине, проектируемой с обсадкой асбестоцементными трубами, можно предусматривать установку водоподъемника, меньшего на один — два очередных диаметра по сравнению с тем, который мог бы быть установлен в соответствующей колонне обычных стальных труб.

*Таблица 27*

**Размеры асбестоцементных труб по ГОСТ 539-73 и стальных труб по ГОСТ 632-64**

| Наружный диаметр, мм | | Внутренний диаметр асбестоцементных труб, мм | | Масса труб, кг | |
|---|---|---|---|---|---|
| асбестоцементных труб ВТ-6 и ВТ-12 | стальных труб | ВТ-6 | ВТ-12 | ВТ-6 | ВТ-12 |
| 224 | 219 | 189 | 181 | 95 | 118 |
| 274 | 273 | 235 | 228 | 134 | 152 |
| 324 | 325 | 279 | 270 | 188 | 218 |
| 373 | 377 | 322 | 312 | 238 | 273 |
| 427 | 426 | 368 | 356 | 315 | 317.5 |

*Примечание.* Длина труб ВТ-6 и ВТ-12 3950 мм.

В проекте проведения работ должно быть особо оговорено, что асбестоцементную колонну нужно спускать совершенно свободно, не допуская ударов по колонне и не поворачивая ее. В проекте необходимо предусмотреть также устройство так называемого герметизированного опорного башмака, устраняющего опасность разрыва асбестоцементных труб, рассчитанных на внутреннее рабочее давление 9—12 кгс/см$^2$, тогда как цементировочный насос развивает давление 30—40 кгс/см$^2$. Несколько лет тому назад на Украине и в РСФСР (трест Промбурвод) начали внедрять в практику бурения

скважин полиэтиленовые трубы и фильтры. Технология работы с полиэтиленовыми трубами пока что сложна. Более перспективно использование полиэтиленовых фильтров.

## § 6. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

При проектировании конструкций скважин для водоснабжения в условиях многолетней мерзлоты необходимо принимать во внимание некоторые специфические требования, которые должны предъявляться к технологии бурения в мерзлых породах.

Должны намечаться наиболее простые конструкции скважин. Для скважин ударно-канатного бурения кондуктор можно предусматривать таким же, как и для обычных условий. Для скважин вращательного бурения с промывкой не следует в качестве направления проектировать металлические обсадные трубы, так как это может вызвать растепление и разрушение устья скважины. Рекомендуется проектировать направление в виде четырехгранной деревянной трубы из досок толщиной 50 мм с надежной изоляцией стыков в углах смолой или варом снаружи и изнутри. Кроме того, необходимо в зазор между направлением и стенками скважины засыпать сухой песок с галькой и гравием и затем заморозить изоляционный слой до смерзания его с окружающей породой и направлением.

Технология бурения и обсаживания трубами для скважин, проектируемых к проходке ударно-канатным способом, мало отличается от тех же приемов в обычных условиях, за исключением необходимости засыпки в скважину поваренной соли во избежание прихвата инструмента. При проектировании скважин, проходимых роторным способом, кроме обычных требований, предъявляемых к промывочной жидкости, необходимо особо оговаривать, что вода в глинистом растворе или для промывки не должна быть сильно минерализованной, а температура ее должна быть низкой. Это имеет решающее значение, так как мерзлота весьма чувствительна к малейшему нарушению теплового режима. Например, когда температура мерзлоты не ниже —2° С, в проекте проведения работ следует предусматривать промывку скважины только жидкостью с отрицательной температурой от —0,5 до —3° С и ниже. Понижать температуру промывочной жидкости следует охлаждением и последующей присадкой поваренной соли к применяемому (работающему) глинистому раствору. Присадку поваренной соли следует проектировать в минимально необходимом количестве (2—3%). Необходимо также оговаривать особенности затворения тампонажного цемента (не на пресной воде, а на специальном солевом растворе).

Так как в каждом отдельном проекте не могут быть предусмотрены и оговорены все особенности техники и технологии бурения скважин в условях мерзлоты, необходимо указывать, что проведение

работ должно строго соответствовать имеющимся инструкциям Министерства геологии СССР и Главсевморпути по проходке скважин в условиях вечной мерзлоты, Крайнего Севера и Арктики.

## § 7. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ БУРЕНИЯ ИХ С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

Основные положения этого метода заключаются в следующем. Бурение ведут роторным способом, но в отличие от обычных бурильных труб для этой же цели используют толстостенные, цельнотянутые трубы диаметром от 100 до 200 мм. Взамен промывочного (глинистого) раствора применяют воду. Ствол скважины при бурении соединяют с отстойником трубой или лотком с необходимым уклоном для беспрерывного поступления воды из отстойника в скважину. Для предохранения ствола скважины от обвалов породы и сохранения его устойчивости в процессе бурения необходимо все время поддерживать столб воды в скважине на высоте не менее 3 м над статическим уровнем водоносного горизонта. Породу на забое разрушают долотом при скорости вращения ротора от 10 до 65 об/мин.

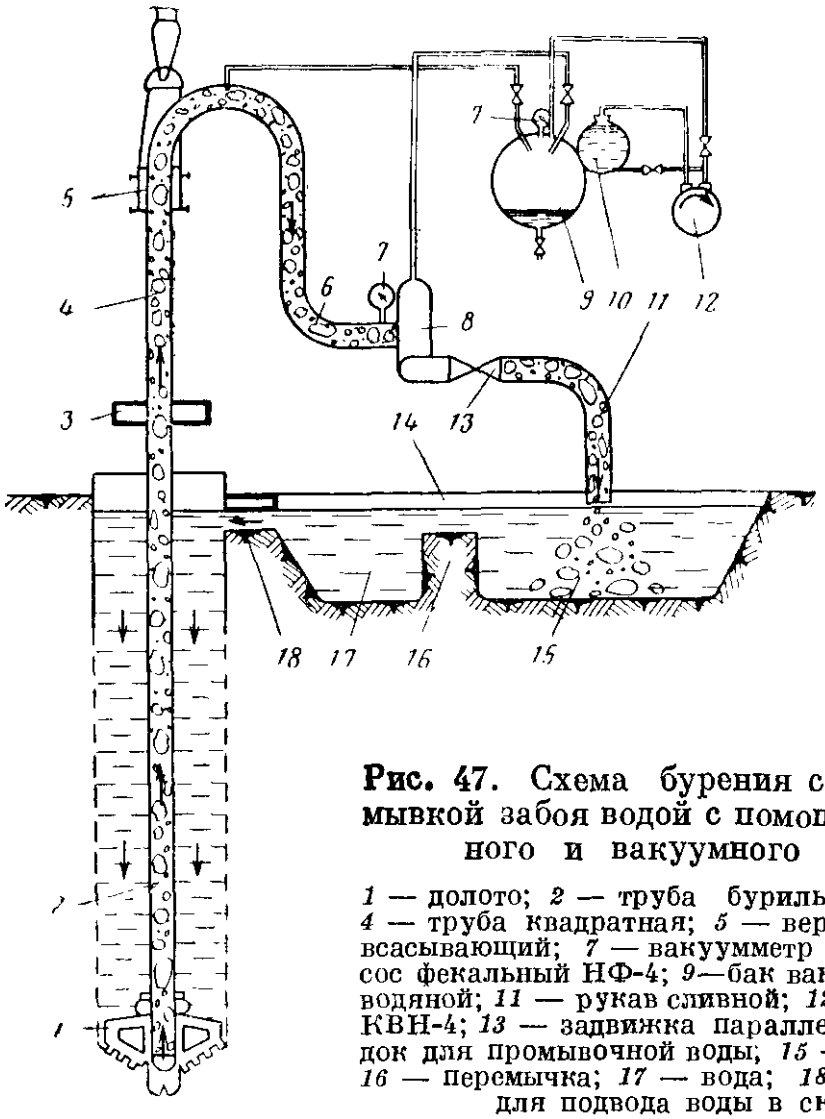



**Рис. 47.** Схема бурения с обратной промывкой забоя водой с помощью центробежного и вакуумного насосов:

*1* — долото; *2* — труба бурильная; *3* — ротор; *4* — труба квадратная; *5* — вертлюг, *6* — рукав всасывающий; *7* — вакуумметр ОБВ-160; *8*—насос фекальный НФ-4; *9*—бак вакуумный; *10*—бак водяной; *11* — рукав сливной; *12* — вакуум-насос КВН-4; *13* — задвижка параллельная; *14* — прудок для промывочной воды; *15* — шлам буровой; *16* — перемычка; *17* — вода; *18* — труба (лоток) для подвода воды в скважину

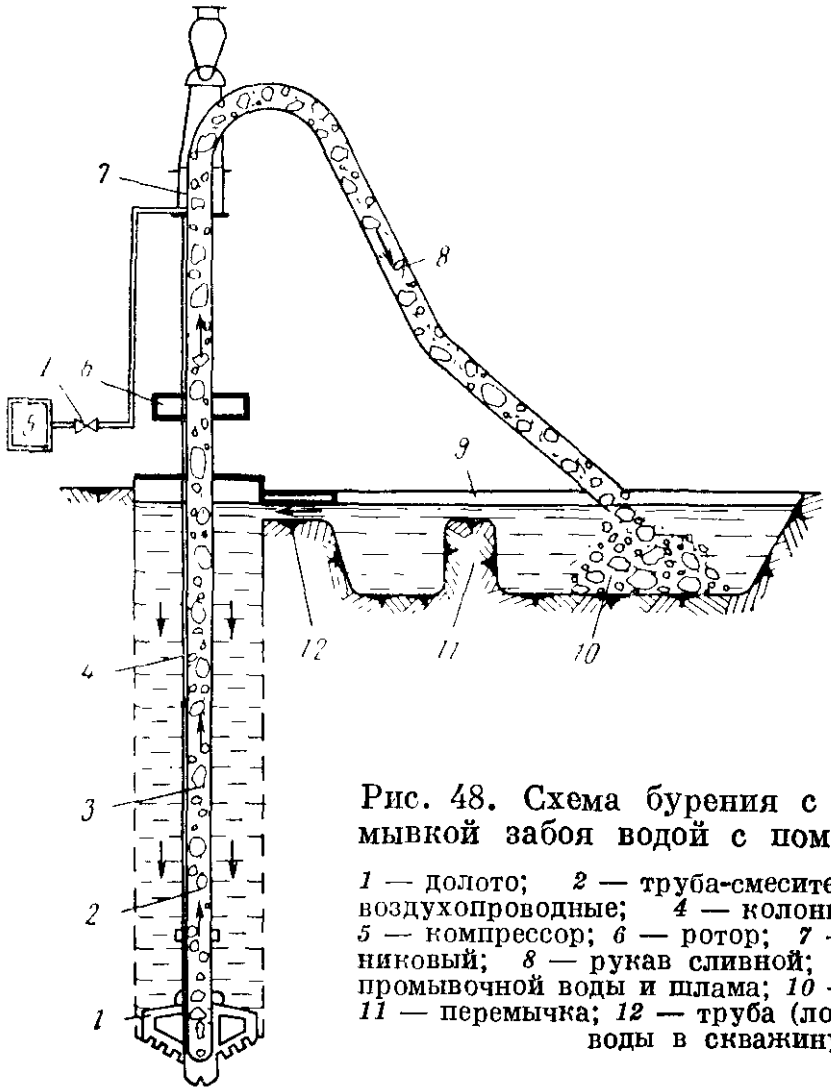



Рис. 48. Схема бурения с обратной промывкой забоя водой с помощью эрлифта

*1* — долото; *2* — труба-смеситель; *3* — трубы воздухопроводные; *4* — колонна бурильная; *5* — компрессор; *6* — ротор; *7* — вертлюг сальниковый; *8* — рукав сливной; *9* — прудок для промывочной воды и шлама; *10* —шлам буровой; *11* — перемычка; *12* — труба (лоток) для подвода воды в скважину

При этом методе бурения движение промывочной жидкости происходит по следующей схеме. Вода поступает в скважину рядом с бурильной колонной и достигает забоя. У забоя, вместе с разрушенной породой вода через отверстия в долоте поступает (засасывается) внутрь бурильной колонны, а оттуда по рукавам сбрасывается в отстойник. В целях более интенсивного засасывания и последующего сброса пульпы на сбросной системе монтируют вакуум-насос и центробежный насос или оборудуют систему эрлифтом, что является более простым и достаточно эффективным приемом (рис. 47, 48).

Основным условием, обеспечивающим успешность бурения методом обратной промывки, является сохранение устойчивости ствола на время сооружения и установки фильтра.

Вопрос об устойчивости ствола скважины связан преимущественно с бурением рыхлых песчаных отложений, которым свойственна наименьшая устойчивость [104].

Условие сохранения устойчивости при бурении выражается

$$p \geqslant \sigma, \qquad \text{(IX.1)}$$

где $p = h_0\gamma_0$ — противодавление столба воды в скважины; $h_0$ — высота столба воды в скважине под статическим уровнем в м; $\gamma_0$ —

плотность воды; $\sigma$ — радиальное давление породы в наименее устойчивом слое (с наименьшим коэффициентом внутреннего трения).

Величину радиального давления породы можно определить по формуле, полученной в результате решения В. Г. Березанцевым осесимметричной задачи предельного равновесия с использованием методического приема Г. М. Мариупольского, предложенного им для неоднородного строения породы.

Эта величина зависит от радиуса скважины, угла внутреннего трения и коэффициента горизонтального распора проходимых пород, значения которых приведены в табл. 28.

*Таблица 28*

**Углы внутреннего трения и коэффициенты горизонтального распора пород**

| Порода | Объемный вес сухой породы, г/см³ | Угол внутреннего трения, градусы | Коэффициент горизонтального распора |
|---|---|---|---|
| Глина | 1,6 ÷ 2,2 | 45 | 0,17 |
| Суглинок | 1,45 ÷ 1,8 | 38 | 0,24 |
| Гравий | 1,6 | 30 | 0,33 |
| Песок крупнозернистый | 1,4 | 27 | 0,37 |
| » среднезернистый | 1,4 | 25 | 0,41 |
| » мелкозернистый | 1,4 | 20 | 0,49 |
| Песок-плывун | 1,5 | 16 | 0,57 |

Как показывают теоретические расчеты и практический опыт, в самых неблагоприятных условиях, когда породы характеризуются минимальными значениями углов внутреннего трения (16 и 20°), значения радиального давления породы составляют 0,3—0,4 кгс/см². При этом устойчивость ствола скважины сохраняется противодавлением столба воды высотой 3—4 м над статическим уровнем зеркала подземной воды.

Поэтому, если уровень подземных вод очень высокий и составляет менее 3 м, организация бурения с обратной промывкой нежелательна, так как для поддержания необходимого противодавления потребуется много всевозможных дорогостоящих устройств и сооружений.

Таким образом бурение скважин с обратной промывкой можно применять.

1. В условиях, где глубина статического уровня подземных вод составляет не менее 3 м.

2. На участках, где гарантирована доставка воды в количестве, достаточном для поддержания постоянного противодавления (с учетом поглощения).

3. На участках, где в геологическом разрезе отсутствуют валуны диаметром 0,4 м и более.

4. В условиях, где геологический разрез представлен породами до IV категории.

Бурение этим способом дает возможность сооружать скважины диаметром 500—1200 мм до глубины 50—150 м без крепления обсадными трубами, обеспечивая тем самым непосредственный спуск фильтровой колонны с достаточным зазором для гравийной засыпки. Скорость бурения увеличивается в 10—15 раз по сравнению с ударно-канатным способом бурения. Производительность скважин, сооруженных методом обратной промывки, в 4—8 раз больше, чем скважин, сооруженных роторным способом с прямой промывкой глинистым раствором, и даже, по данным В. М. Гаврилко, в 1,5—2 раза больше, чем скважин, сооруженных ударно-канатным способом бурения.

Произведенные в настоящее время экономические расчеты, также по данным В. М. Гаврилко, показывают, что в отдельных случаях полные затраты на 1 м скважины, сооруженной методом обратной промывки, более чем в 2 раза меньше, чем при бурении аналогичной скважины обычным роторным или ударно-канатным способами.

Таким образом бурение скважин с обратной промывкой является безусловно прогрессивным, заслуживающим внимания и более широкого внедрения. Большее распространение его ограничено из-за определенных перечисленных ранее геолого-гидрогеологических, а также климатических условий нашей страны, допускающих применение его только в безморозный период года. Сдерживающим фактором является также отсутствие специальных, серийно выпускаемых станков для бурения с обратной промывкой. Единичные станки УРБ-2А, УРБ-3АМ и 1БА-15В, реконструированные и переоборудованные для бурения с обратной промывкой в местных мастерских и на мелких ведомственных заводах, в очень малой степени могут способствовать массовому распространению этого вида бурения. В то же время его можно успешно применять не только для бурения одиночных разведочно-эксплуатационных скважин, при наличии соответствующих условий, но, например, для бурения скважин на групповых инфильтрационных водозаборах, где достаточна обеспеченность водой для поддержания необходимого противодавления.

Что же касается собственно «чистого» проектирования скважин для бурения этим способом, то оно в части гидрогеологического обоснования ничем не отличается от обычного, за исключением того, что должны быть приняты во внимание упомянутые ранее ограничения и обязательные условия, геолого-гидрогеологического разреза. В остальном же проектирование заключается по существу в проектировании фильтровой колонны, для которой должен быть предусмотрен достаточно емкий кольцевой зазор под гравийную засыпку, а также под затрубное цементирование глухой части фильтровой колонны.

Для затрубного цементирования фильтровой колонны непосредственно над водоприемной частью фильтровой колонны необходимо предусматривать установку фланца по наружному диаметру колонны и внутреннему диаметру скважины, назначение которого —

изолировать водоприемную часть от проникновения цемента. Установку фланца следует предусматривать после производства гравийной засыпки.

## § 8. ВЫБОР ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИН

В зависимости от характера водовмещающих пород приемные части разведочно-эксплуатационных скважин бывают фильтровые — при использовании вод, приуроченных к рыхлым обломочным породам, и бесфильтровые — при получении воды из трещиноватых скальных пород, а также из очень мелких песков.

К фильтрам скважин, питающихся водами рыхлых обломочных пород, предъявляются следующие требования:

1) фильтрующая поверхность должна быть достаточной для того, чтобы пропускать требуемое количество воды при небольших входных скоростях движения и возможно меньших сопротивлениях;

2) во время эксплуатации скважины через фильтры не должны поступать глинистые, пылеватые и песчаные частицы из окружающих водоносных пород;

3) фильтр скважины должен служить возможно больший срок, не разрушаться вследствие коррозии каркаса, проволоки или сетки, а также не забиваться частицами окружающих пород и не зарастать осадками, выделяющимися из воды;

4) фильтр не должен ухудшать качество воды вследствие увеличения содержания железа или других компонентов, образующихся в результате разрушения материалов, из которых он изготовлен;

5) фильтры должны изготовляться из материалов, допущенных для этих целей Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения СССР.

В настоящее время существует много конструкций фильтров водозаборных скважин: сетчатые, гравийно-сетчатые, гравийно-проволочные, блочные, кожуховые, щелевые штампованные, каркасно-стержневые, корзинчатые и др.

Как показывает многолетний отечественный и зарубежный опыт, лучшими во всех отношениях являются фильтры гравийные и фильтры с гравийными обсыпками. Поэтому при проектировании следует отдавать предпочтение этим фильтрам всегда, когда для этого есть благоприятствующие условия.

Рассмотрение конструкций и применимости фильтров в различных гидрогеологических условиях является специальным вопросом [42а].

При использовании грунтовых вод фильтр должен быть погружен так, чтобы он не обнажался во время эксплуатации скважины, т. е. всегда находился ниже динамического уровня воды. Если позволяет мощность водоносного горизонта, то фильтр целесообразно устанавливать в нижней части горизонта. При этом обеспечивается лучший приток воды к фильтру; кроме того, благодаря большей фильтрующей толще затрудняется проникновение в скважину поверхностных загрязнений.

При выборе материала для изготовления фильтров нужно учитывать состав воды. Если ожидается, что вода обладает агрессивными свойствами, то рекомендуется использовать для каркасов трубы из стали марок Ст. 3 и Ст. 5, пластических масс, асбестоцементные; для сетчатых фильтров следует применять сетку из нержавеющей стали или из пластических масс.

В трещиноватых скальных породах, если в них нет прослоев рыхлых пород и стенки скважины устойчивые, приемную часть лучше оставлять открытой, без крепления дырчатым каркасом, который затрудняет приток воды и осложняет работы при ремонте и восстановления скважины. Если такая скважина будет углублена в глины, подстилающие водоносный горизонт (например, при необходимости устройства «кармана» для спуска воздухопроводных труб), то ствол ее в пределах вскрытия этих глин нужно изолировать глухими обсадными трубами; в верхней части труб следует поместить сальник. Если такой необходимости нет, то ствол следует зацементировать (рис. 49).

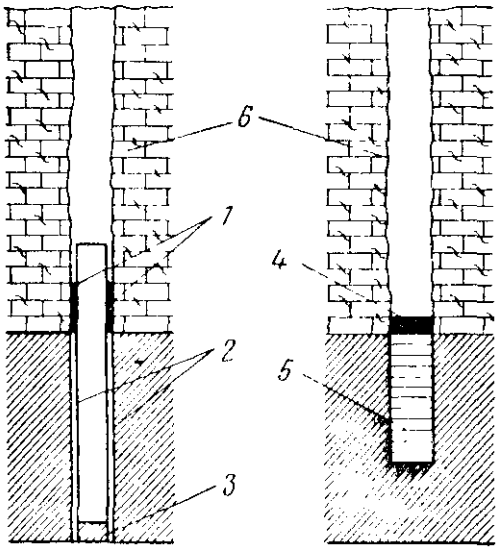



Рис. 49. Изоляция глин, вскрытых в нижней части скважины:

*1* — сальник; *2* —стакан из глухих труб; *3* — пробка; *4*, *5* — пробка цементная; *6* — водоприемная часть скважины (необсаженная).

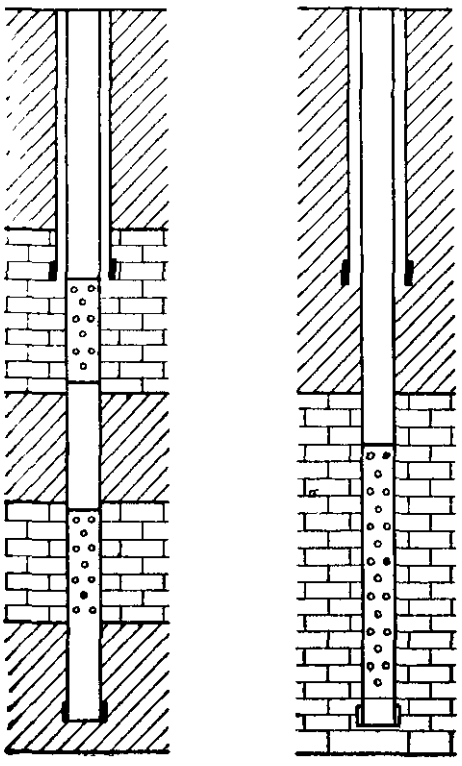


Рис. 50. Крепление водоприемной части скважины перфорированными трубами

Наличие в водоносных трещиноватых скальных породах прослоев легко размываемых глин или неустойчивость самих трещиноватых пород иногда обусловливают необходимость опускать в приемную часть скважины колонну дырчатых (перфорированных) обсадных труб (рис. 50). Перфорировать трубы можно сверлением круглых отверстий диаметром 10—20 мм или нарезкой щелей длиной 30—100 мм и шириной 2—5 мм.

Чем больше скважность перфорированных труб (отношение площади отверстий к общей площади перфорированной трубы), тем меньшее сопротивление они оказывают притоку воды в скважину. В среднем скважность перфорированных труб принимается разной — 0,2—0,3. По табл. 29 можно наметить разбивку круглых отверстий в трубах различных диаметров и определить скважность полученного фильтра [114].

Один из важных элементов приемной части разведочно-эксплуатационных

*Таблица 29*

**Размеры и расположение круглых отверстий в каркасах фильтров**

| $D$, мм | $d$, мм | $a$, мм | $b$, мм | $n$, шт. | $N$, шт. | $k$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 89 | 12 | 23 | 15 | 12 | 780 | 32 |
| 114 | 16 | 25 | 22 | 14 | 635 | 34,9 |
| 168 | 18 | 29 | 25 | 18 | 720 | 33,8 |
| 219 | 20 | 34 | 31 | 20 | 640 | 29,2 |
| 273 | 20 | 36 | 31 | 24 | 768 | 27,5 |
| 325 | 22 | 41 | 33 | 25 | 750 | 28,5 |
| 377 | 22 | 39 | 33 | 30 | 900 | 29,5 |

*Примечание.* $D$—диаметр наружной трубы; $d$—диаметр отверстия; $a$—расстояние между отверстиями по горизонтали; $b$—расстояние между отверстиями по вертикали; $n$—число отверстий в горизонтальном ряду; $N$—число отверстий на 1 м трубы; $k$—отношение площади отверстий к площади трубы (скважность фильтра или площадь фильтрации).

скважин — сопряжение колонны глухих обсадных труб с породами водоносного горизонта в трещиноватых скальных породах. При неплотном сопряжении во время эксплуатации скважины в нее могут проникать глины или пески, залегающие в кровле водоносного горизонта, а в дальнейшем могут образовываться каверны. Во избежание этого при ударном способе бурения башмак глухой колонны должен быть задавлен или забит в водоносные породы на 0,5—3,0 м ниже их кровли. Если скважину предполагается бурить роторным способом, то в проекте следует рекомендовать погрузить колонну на ту же глубину в водоносные породы и, кроме того, предусмотреть подбашмачное цементирование.

Иногда колонну глухих обсадных труб следует погружать в породы водоносного горизонта и более чем на 3 м, если в верхней части этого горизонта залегают рыхлые разрушенные породы (древний элювий). То же делают для уменьшения притока воды из песков, покрывающих водоносные скальные породы (рис. 51). Однако часто скальные породы наиболее трещиноваты в самой верхней части горизонта, поэтому излишнее погружение глухой обсадной колонны может значительно уменьшить водообильность скважины. Если предполагается бурить скважину в подобных условиях, в проекте надо указывать на эти особенности.

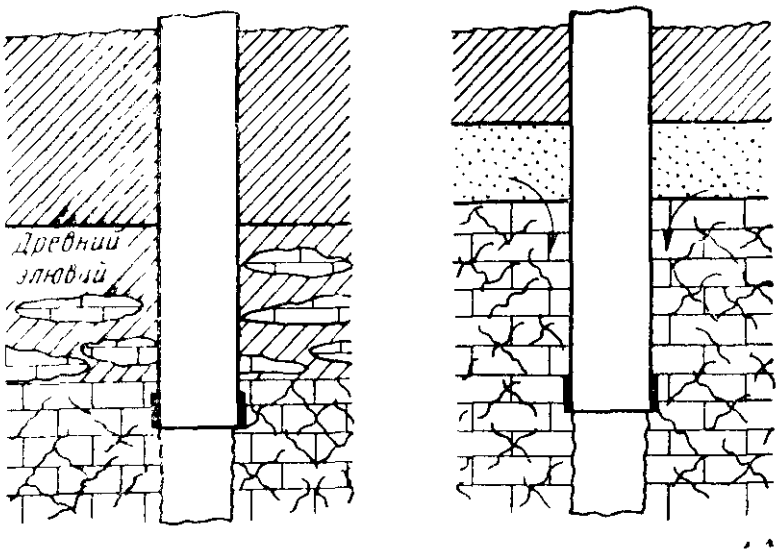



Рис. 51. Погружение колонны обсадных труб в породы водоносного горизонта при необходимости изоляции слоев, залегающих в верхней части горизонта

Проектирование конструкции скважины — один из основных элементов проекта, от которого зависит успех всей работы. Неправильно запроектированная конструкция может вызвать осложнения в процессе бурения, недостаточную водообильность скважины или плохое качество воды в ней даже при наличии водообильных водоносных горизонтов, содержащих воду хорошего качества.

В проекте нужно указывать возможные отклонения от принятой глубины скважины и глубины погружения колонн обсадных труб. Это часто приходится делать из-за несовпадения действительного геологического разреза с предполагаемым. Так, в Подмосковной палеозойской котловине глубина залегания кровли водоносных известняков в некоторых районах изменяется на 20—30 м в пределах небольших расстояний, поэтому проектную глубину скважины и глубину погружения колонн обсадных труб также следует принимать с учетом возможного изменения глубины залегания пород.

Фильтр и его конструкцию нужно подбирать в зависимости от характера породы водоносного горизонта и глубины скважины в соответствии с табл. 30 (по СН 325—65).

В водоносных горизонтах мощностью до 5 м длина рабочей части фильтра принимается равной их мощности.

Длина рабочей части фильтра $l_0$ (в м) для более мощных водоносных пластов определяется по формуле

$$l_0 = \frac{Q\alpha}{d}, \qquad \text{(IX.2)}$$

где $Q$ — дебит скважины в м³/ч; $\alpha$ — эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического состава породы водоносного пласта и определяемый по табл. 31; $d$ — наружный диаметр фильтра в мм.

При обсадке скважин во время ударного бурения, если намечено применить трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией, сетчатые, проволочные и каркасно-стержневые фильтры, конечный диаметр скважины должен быть больше наружного диаметра фильтра не менее чем на 50 мм.

Если бурят роторным способом без обсадки, то для установки какого-либо типа фильтра из перечисленных выше конечный диаметр скважины должен быть более наружного диаметра фильтра не менее чем на 100 мм.

При установке гравийного фильтра конечный диаметр скважины принимают, исходя из величины наружного диаметра фильтра и толщины гравийной обсыпки.

В водоносных горизонтах малой мощности окончательный диаметр каркаса фильтра должен быть принят с учетом размещения в нем выбранного по проекту водоподъемника.

Размеры проходных отверстий фильтра при их контактировании с естественной водоносной породой рекомендуется определять по табл. 32.

*Таблица 30*

**Область применения различных типов и конструкций фильтров**

| Водоносные породы | Применяемые фильтры и их конструкции |
|---|---|
| Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые породы с преобладающей крупностью щебня и гальки от 20 до 100 мм (более 50% по весу) | Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией<br>Стержневые фильтры |
| Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм и преобладанием частиц от 2 до 5 мм (более 50% по весу) | Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки или из штампованного стального листа<br>Стержневые фильтры с обмоткой проволокой из нержавеющей стали или с водоприемной поверхностью из штампованного листа |
| Пески крупные с преобладанием частиц крупностью 1—2 мм (более 50% по весу) | Трубчатые фильтры с щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, штампованного стального листа или из сетки квадратного плетения<br>Стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, стального штампованного листа или из сетки квадратного плетения |
| Пески средние с преобладанием частиц крупностью от 0,25 до 0,5 мм (более 50% по весу) | Трубчатые и стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения<br>Трубчатые и стержневые фильтры с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры) |
| Пески мелкие с преобладанием частиц крупностью от 0,1 до 0,25 мм (более 50% по весу) | Трубчатые и стержневые фильтры с одно-, двух- или трехслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры) |

*Примечания*: 1. Фильтры на стержневых каркасах (стержневые фильтры) обладают лучшими гидравлическими свойствами и обеспечивают более эффективную работу скважин при длительной их эксплуатации. Особенно эффективны эти фильтры в водах неустойчивого химического состава, в которых проходные отверстия на каркасах сильно зарастают железистыми и карбонатными отложениями, в результате чего снижается их скважность.

2. Применение трубчатых стальных фильтров допускается при всех глубинах скважин.

3. Применение фильтров, выполненных из дерева, пластмассы, стеклопласта, а также блочных из пористого бетона и керамики допускается для скважин глубиной до 150 м.

4. Применение каркасно-стержневых фильтров рекомендуется для скважин глубиной до 200 м.

5. Сетки проволочные квадратного и гладкого (галунного) плетений могут изготовляться из латунной проволоки, латунной и нержавеющей стали; сетки штампованные гофрированные с круглыми отверстиями — из пластических масс.

6. Сетки проволочные квадратного плетения из стали марок Ст. 3 и Ст. 5 допускаются только при устройстве кожухов для гравийных фильтров.

7. Блочные фильтры из пористой керамики могут применяться при небольшой производительности скважин (до 18 м³/ч). Не рекомендуется устанавливать такие фильтры в скважинах, пробуренных с промывкой глинистым раствором, в глинистых песках, а также при повышенном содержании железа в подземных водах.

8. Блочные фильтры из пористого бетона не следует устанавливать в водах, агрессивных по отношению к бетону.

9. В крупногалечных и неустойчивых скальных породах при глубине скважин до 100 м допускается применение фильтров с каркасом из штампованной листовой стали толщиной 4—7 мм с антикоррозийным покрытием.

*Таблица 31*

| Порода | Коэффициент фильтрации $k$, м/сут | Коэффициент $\alpha$ |
|---|---|---|
| Песок: | | |
| мелкий . . . . . | 2—5 | 90 |
| средний . . . . . | 6—15 | 60 |
| крупный . . . . . | 16—30 | 50 |
| Гравий . . . . . | 31—70 | 30 |

*Примечания*: 1. Значения коэффициента $\alpha$, приведенные в табл. 31, получены, исходя из средних величин коэффициентов фильтрации, характеризующих соответствующие породы, и допустимой входной скорости, определенной по эмпирической формуле

$$v = 65 \sqrt[3]{k}, \qquad \text{(IX.3)}$$

где $k$ — коэффициент фильтрации водоносного пласта. При других значениях $k$ величина коэффициента $\alpha$ определяется интерполяцией.

2. За наружный диаметр фильтра в зависимости от его конструкции принимается:

а) в трубчатых фильтрах с круглой и щелевой перфорацией — наружный диаметр фильтровой трубы;

б) в проволочных и каркасно-стержневых фильтрах — наружный диаметр проволочной обмотки;

г) в гравийных фильтрах — наружный диаметр фильтрующей обсыпки.

3. Минимальный диаметр каркаса фильтра по условиям эксплуатации и ремонта скважин следует принимать равным не менее 100 мм.

*Таблица 32*

| Фильтр | Размер проходных отверстий, мм | |
|---|---|---|
| | при коэффициенте неоднородности пород $k_н \leqslant 2$ | при коэффициенте неоднородности пород $k_н \geqslant 2$ |
| Трубчатый | | |
| с круглой перфорацией . . . . | $2{,}5—3d_{50}$ | $3—4d_{50}$ |
| с щелевой перфорацией . . . . | $1{,}25—1{,}5d_{50}$ | $1{,}5—2d_{50}$ |
| Сетчатый . . . . . | $1{,}5—2d_{50}$ | $2—2{,}5d_{50}$ |

*Примечания*: 1. Размер проходных отверстий фильтров, контактирующих со слоем гравийной обсыпки, толщина которой не превышает 50 мм, следует подбирать исходя из среднего диаметра частиц обсыпки.

2. Меньшие значения размеров проходных отверстий относятся к мелким пескам, большие — к крупным.

Здесь $d_{50}$ — размер частиц, содержание которых в водоносном пласте по весу составляет 50% (определяется по графику гранулометрического состава пород; $k_н$ — принимается как отношение $d_{60}/d_{10}$). Типы фильтров приведены в табл. 33.

*Таблица 33*

**Основные типы фильтров (СН 325-65)**

| Тип фильтров | Материалы для изготовления | Особенности конструкции |
|---|---|---|
| Фильтры на опорных каркасах из труб с круглой и щелевой перфорацией: | | |
| а) трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией | Трубы металлические, деревянные, пластмассовые, полиэтиленовые, стеклопластиковые, асбестоцементные | Скважность трубчатого фильтра 20—25%. Диаметр отверстий и ширина изделий определяются размером преобладающих фракций породы или обсыпки (см. табл. 30) |
| б) с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки | Трубы бурового стандарта (обсадные) с круглой или щелевой перфорацией. Прутковая сталь марки Ст. 3 диаметром 5—10 мм. Проволока из нержавеющей стали диаметром 3—4 мм | Скважность каркаса 20—25%. Диаметр круглых отверстий 15—25 мм. Щели: ширина 10—30 мм, длина 250—300 мм<br>Скважность водоприемной поверхности из проволочной обмотки до 60%. Зазор между витками проволоки определяется размером преобладающих частиц породы или обсыпки |
| в) с водоприемной поверхностью из штампованного стального листа, имеющего щели и отверстия различных очертаний | Трубы (металлические или неметаллические) с круглой или щелевой перфорацией. Проволока из нержавеющей стали диаметром 3—4 мм или из перхлорвинила. Нержавеющая листовая сталь толщиной 0,8—1 мм, штампованная | Конструктивно трубчатый каркас аналогичен фильтрам типа 1б. Скважность водоприемной поверхности из штампованного стального листа до 20—25%. Размеры отверстий определенной крупностью преобладающих фракций породы или обсыпки. Водоприемная поверхность из штампованного стального листа накладывается на трубчатый каркас по проволочной спирали или по стержням |
| г) с водоприемной поверхностью из сеток | Трубы металлические и неметаллические (с круглой или щелевой перфорацией). Подмотка под фильтрующее покрытие из проволоки нержавеющей стали, перхлорвинила или винипластовой гофрированной сетки с круглыми отверстиями. Сетка из нержавеющей стали или латуни гладкого (галунного) или квадратного плетения или сетка типа «семянка» | Конструктивно трубчатый каркас аналогичен фильтрам типов 1б и 1в. Скважность водоприемной поверхности 30—55% в зависимости от преобладающего размера фракций породы или обсыпки. Сетки накладываются на проволочную спираль из нержавеющей стали, перхлорвинила или винипластовой гофрированной перфорированной сетки или на продольные прутья диаметром 5—10 мм |

| Тип фильтров | Материалы для изготовления | Особенности конструкции |
|---|---|---|
| Фильтры на опорных каркасах из стержней (каркасно-стержневые) | | |
| а) стержневые фильтры-каркасы с вертикальными щелями | Сталь прутковая Ст. 5 и Ст. 7 диаметрами 6, 12, 14, 16 мм. Соединительные патрубки из труб бурового стандарта. Опорные кольца или закладные планки | Скважность стержневого фильтра-каркаса до 60%. Ширина щелей зависит от размера преобладающих фракций породы или обсыпки и определяется в соответствии с имеющимися рекомендациями |
| б) с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки | То же, что и для фильтра типа 2а. Проволока из нержавеющей стали диаметром 2—4 мм | В качестве опорного каркаса используется стержневой фильтр типа 2а с максимальным размером щелей. Фильтрующее покрытие выполняется спиральной намоткой проволоки из нержавеющей стали. Скважность водоприемной поверхности 50—60%. Размер зазора между витками проволоки зависит от крупности частиц породы или обсыпки |
| в) с водоприемной поверхностью из штампованного стального листа, имеющего отверстия и щели различной конфигурации | То же, что и для фильтра типа 2а. Нержавеющая сталь толщиной 0,8—1 мм, штампованная | В качестве опорного каркаса используется стержневой фильтр. Фильтрующее покрытие, как и у фильтров типа 1в, выполняется из штампованного стального листа со скважностью 20—25%. Размер отверстий определяется в зависимости от их формы и крупности пород или обсыпки |
| г) с водоприемной поверхностью из сеток | То же, что и для фильтра типа 2а. Подмотка под фильтрующее покрытие из проволоки нержавеющей стали, перхлорвинила. Сетка из нержавеющей стали или латуни квадратного (галунного) плетения | Конструктивно опорный каркас аналогичен фильтрам типа 2б с той разницей, что проволочная обмотка выполняет роль подкладочного материала. Фильтрующим покрытием является сетка, которая подбирается в зависимости от крупности преобладающих фракций пород или обсыпки |
| Гравийные | | |
| а) гравийные засыпные (на забое) | В соответствии с выбранной конструкцией опорного каркаса | В качестве опорного каркаса гравийнозасыпных фильтров могут быть использованы все конструкции фильтров 1-го и 2-го типов. Размеры проходных отверстий на опорном каркасе определяются крупностью обсыпки в соответствии с данными ранее рекомендациями. Фильтрующим покрытием является обсыпка (песчаная, гравийная, пес- |

*Продолжение табл. 33*

| Тип фильтров | Материалы для изготовления | Особенности конструкции |
|---|---|---|
| | | чано-гравийная), устраиваемая на забое (засыпкой материала по межтрубному пространству). Число слоев обсыпки и крупность гравийного материала определяются крупностью водоносных песков в соответствии с имеющимися рекомендациями |
| б) гравийные кожуховые | То же, что и для фильтра типа 3а. Сетка квадратного плетения из железной проволоки. Листовое кровельное железо, штампованное | В качестве штампованного каркаса кожуховых фильтров могут быть использованы те же конструкции, что и для фильтров 3а, размер проходных отверстий на которых определяется крупностью обсыпки в соответствии с имеющимися рекомендациями. Фильтрующим покрытием является однослойная гравийная обсыпка, которая подбирается в зависимости от крупности водоносных песков. Кожух рекомендуется изготовлять из сеток квадратного плетения или из штампованного кровельного железа |
| в) гравийные блочные на различном клее (цементе) | То же, что и для фильтра типа 3а. Фильтровые блоки из пористого бетона, пористой керамики и других, изготовленных на основе синтетических клеев, применение которых в скважинах питьевого водоснабжения согласовано с Госсанинспекцией | В качестве опорного каркаса рекомендуется применять стержневые или трубчатые фильтры типов 1а и 2а с максимальным размером проходных отверстий. Для неглубоких скважин можно применять блочные фильтры без каркаса. Фильтрующим покрытием являются частицы, связанные цементирующими веществами в жесткую пористую прочную цилиндрическую оболочку (блоки) из пористой керамики, пористого бетона и др. Фильтровые блоки подбираются в соответствии с рекомендациями, данными ранее |

*Примечание.* К группе фильтров типа 1а относят фильтры, свальцованные из штампованного стального листа с антикоррозийным покрытием; листовая сталь марок Ст. 5.Ст. 7; толщина листов от 3 до 7 мм; щели различной конфигурации.

В трубчатых фильтрах с круглой или щелевой перфорацией скважность следует доводить до 25—30%, в фильтрах с проволочной обмоткой и в каркасно-щелевых скважность следует доводить из условий их прочности до 30—60% в зависимости от толщины проволоки и стержней и расстояний между ними.

В гравийных фильтрах в зависимости от гранулометрического состава водоносных пород в качестве обсыпки можно применять пески, гравий и песчано-гравийные смеси.

При подборе материалов для гравийных обсыпок можно пользоваться соотношением

$$D_{50} \text{ обсыпки}/d_{50} \text{ породы} = 8-12,$$

где $D_{50}$ — размер частиц (частиц, размером меньше указанного в обсыпке, содержится 50%); $d_{50}$ — то же, в породе.

В гравийных фильтрах толщину и количество слоев обсыпки подбирают в соответствии с его принятой конструкцией. Для фильтров, собираемых на поверхности земли и опускаемых в скважину в готовом виде, толщина каждого слоя обсыпка должна быть не менее 30 мм. Для фильтров, создаваемых на забое скважин при помощи засыпки гравия по межтрубному пространству, толщина обсыпки должна быть не менее 50 мм. Более надежны в эксплуатации скважины с гравийной обсыпкой толщиной 150—200 мм. Длину отстойника принимают равной 1—2 м.

Для предупреждения выноса частиц песка в скважину через фильтр над его рабочей частью устанавливают надфильтровую трубу, если он потайной. Верхняя часть последней должна иметь приспособление для спуска и подъема фильтра и находится выше башмака предыдущей обсадной трубы не менее чем на 3 м при глубине скважины до 30 м и не менее чем на 5 м при большей глубине скважины. Между обсадной и надфильтровой трубами в верхней части надфильтровой трубы должен быть установлен сальник.

Если надфильтровая труба выходит на поверхности земли и гравий засыпается в межтрубное пространство до верхнего края надфильтровой трубы, то сальник не требуется. Основные типы фильтров для разведочно-эксплуатационных скважин приведены в табл. 33.

## § 9. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСФИЛЬТРОВЫХ СКВАЖИН В МЕЛКИХ ПЕСКАХ

В некоторых гидрогеологических условиях целесообразно проектировать бесфильтровую водоприемную часть скважин, которые должны вскрывать водоносные горизонты, сложенные мелкими песками. В настоящее время такие скважины сооружают в Пензенской, Волгоградской, Саратовской, Куйбышевской, Грозненской, Чимкентской областях. Имеется опыт их бурения в Киевской, Полтавской, Харьковской, Могилевской, Оренбургской и других областях. Всесоюзное совещание по строительству бесфильтровых скважин (г. Волгоград, 1969 г.) призвало шире внедрять этот тип скважин в производство, а Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР обратило внимание водохозяйственных организаций на использование этого вида скважин для существенного улучшения качества водозаборных сооружений.

Эффективность работы скважины с бесфильтровой водоприемной частью в мелко- и тонкозернистых песках объясняется тем, что иногда в таких песках удается создать каверну с водосборной поверхностью, значительно превышающей водоприемную поверхность фильтра в аналогичных условиях.

В мелких и в тонких песках могут эффективно работать только гравийные фильтры, устройство таких фильтров не всегда и не везде возможно и нередко требует больших затрат труда; сооружение же бесфильтровых скважин значительно проще и экономичнее.

Такие скважины можно проектировать, когда имеется уверенность в том, что над водоносным горизонтом залегает мощная и прочная (не подверженная размыву) водоупорная кровля (песчаники, опоки, сланцы и т. п.) и, кроме того, водоносный горизонт должен быть высоконапорным (вплоть до самоизлива).

В последнее время некоторыми специалистами (В. М. Гаврилко, О. К. Киселев, В. М. Беляков, Н. Г. Сапожников) проведены теоретические расчеты, отчасти подтверждены лабораторными исследованиями и натурными наблюдениями, которые позволяют при проектировании бесфильтровых скважин в песках руководствоваться не только общими положениями, но строить проектирование на инженерной основе.

В. М. Беляков [40] рекомендует обратить внимание при проектировании на глубину установки башмака обсадных труб и предлагает делать это дифференцированно. Если кровля водоносного горизонта сложена достаточно прочными породами (известняками, доломитами, мелами, песчаниками, мергелями, иногда глинами древнего возраста), бурить ствол скважины можно до глубины 1—2 м ниже поверхности кровли. Обсадные трубы должны быть опущены на прочные породы кровли и зацементированы. В дальнейшем скважину бурят меньшего диаметра и ствол ее не закрепляют. Если же кровля сложена породами трещиноватыми или имеющими склонность к вывалам, набуханию и растворению, то ствол скважины следует доводить до вскрытия водоносного горизонта. Башмак обсадных труб должен быть при этом установлен на 0,3—0,5 м выше нижней поверхности кровли (контакта кровля — водоносный горизонт).

Особое внимание при проектировании бесфильтровых скважин необходимо обращать на цементирование затрубного пространства колонны и особенно ее башмака. Для этого надо предусматривать цементирование с двумя пробками. Если намечено манжетное цементирование колонны, то предшествовать ему должна подбашмачная цементация.

Цементирование затрубного пространства вблизи забоя создает надежное сцепление труб с породами, способствует усилению устойчивости кровли и улучшает изоляцию от перетекания воды из вышележащих горизонтов.

В. М. Беляков считает, что применение глинистого раствора при бурении бесфильтровых скважин не оказывает отрицательного воздействия на водоотдачу водоносного горизонта, поскольку фор-

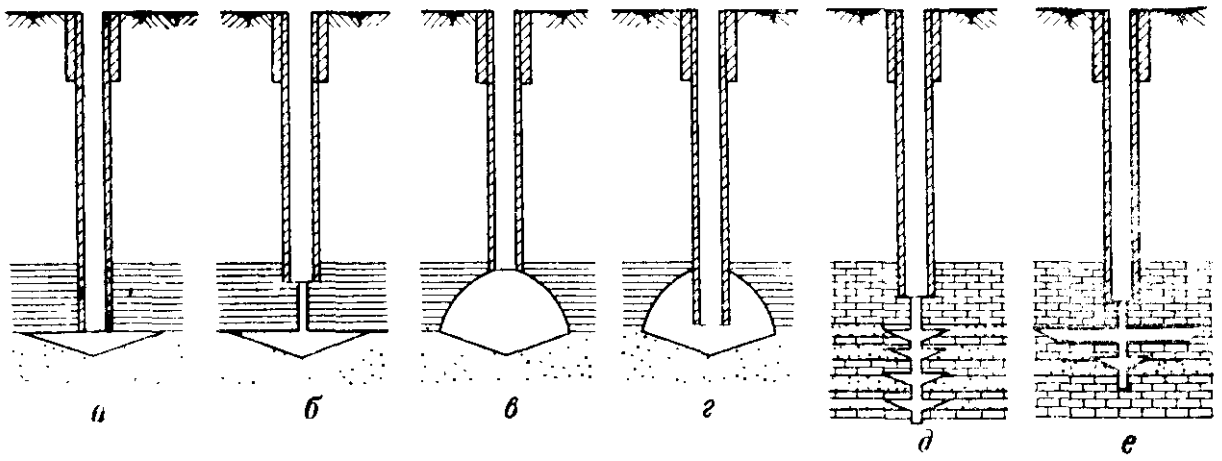



Рис. 52. Некоторые разновидности конструкции бесфильтровых скважин и форм водоприемных полостей (по В. М. Белякову):

*а* — скважина с водоприемной полостью в виде воронки. Обсадные трубы доведены до водоносного горизонта; *б* — обсадные трубы остановлены в водоупорной кровле; *в* — скважина с водоприемной полостью в виде воронки. Обсадные трубы остановлены в водоупорной кровле, над воронкой свод обрушения; *г* — скважина с водоприемной полостью в виде воронки, обсадные трубы доведены до водоносного горизонта, над воронкой свод обрушения; *д* — скважина с удлиненной водоприемной полостью в переслаивающемся водоносном горизонте; *е* — скважина с укороченной водоприемной полостью в переслаивающемся водоносном горизонте

мируются водоприемные полости в песчаных горизонтах посредством эрлифта и глинистый раствор не является составной частью этого процесса.

При помощи интенсивной откачки эрлифтом или промывки в верхней части водоносного горизонта разрабатывают воронку с большой водосборной площадью (рис. 52), которая и является водоприемной частью скважины.

Приведенные в табл. 34 расчеты условны, но они дают объяснение большим дебитам бесфильтровых скважин при незначительном вскрытии водоносного пласта [114].

*Таблица 34*

**Величина фильтрационной поверхности воронки бесфильтровой скважины**

| Глубина каверны, м | Угол естественного откоса водоносного песка, градусы | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 25 | 35 | 10 | 25 | 35 | 10 | 25 | 35 |
| | поверхность воронки, м² | | | радиус воронки, м | | | длина фильтра диаметром 6″, приведенная к равновеликой поверхности воронки | | |
| 0,5 | 27 | 4 | 2,3 | 3 | 1 | 0,7 | 54 | 8 | 4,6 |
| 1 | 100 | 18 | 9,4 | 5,7 | 2,2 | 1,4 | 200 | 36 | 19 |
| 2 | 470 | 72 | 38 | 11 | 4,3 | 2,9 | 940 | 144 | 76 |
| 3 | — | 287 | 150 | — | 11,4 | 6 | — | 540 | 300 |

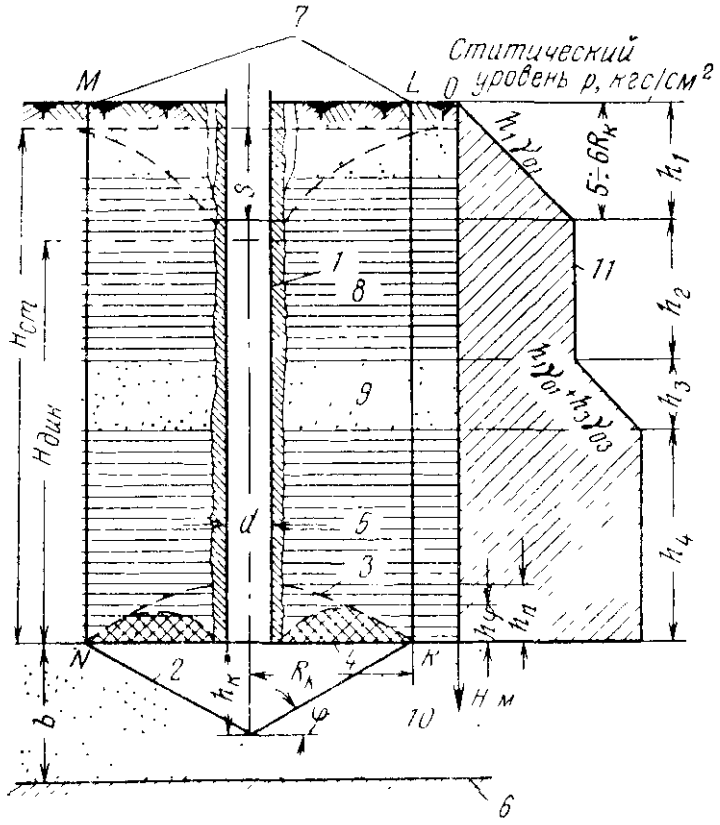



Рис. 53. Схематический геолого-технический разрез бесфильтровой скважины в песчаном водоносном горизонте (по В. М. Гаврилко и О. К. Киселеву):

*1* — трубы обсадные зацементированные; *2* — воронка; *3* — свод обрушения параболический; *4* — свод обрушения, образованный вращением параболы вокруг вертикальной оси; *5* —кровля водоносного горизонта; *6* — подошва водоносного горизонта; *7* — зона цилиндрическая напряженности пород *MNKL* над воронкой; *8* — порода прочная связная — глина, мергель и пр.; *9*—порода несвязная — песок-плывун и пр.; *10*—пески водоносные, *11* — эпюра давления в цилиндрической зоне напряженности пород

При образовании воронки нарушается равновесие пород, находящихся в зоне скважины (рис. 53). Наибольшее напряжение испытывает порода, расположенная выше воронки по границе *MN* и *KL*. Эта порода, лишенная твердой опоры снизу, стремится под действием силы тяжести обрушиться в воронку. Однако при наличии в разрезе крепких связных пород этого не происходит. Порода в зоне границ *MN* и *KL* воронки «повисает» на породе, находящейся за этими границами, в результате чего разгружается сводовая часть кровли над воронкой. По данным исследований давление в зоне напряженности пород *7* с глубиной распределяется по эпюре давления *11*. С поверхности и до глубины, равной 5—6 радиусам воронки, давление увеличивается по гидростатическому закону.

Гидростатический закон увеличения давления с глубиной характерен для жидкости и для рассматриваемого случая равен

$$p_1 = \frac{h_1 \gamma_{01}}{10}, \qquad \text{(IX.4)}$$

где $\gamma_{01}$ — плотность породы.

Ниже этой зоны при наличии связных крепких пород давление с глубиной не увеличивается и является величиной постоянной, равной $p_1$. Такое распределение давления над выработкой в связных породах может сохраниться до кровли водоносного горизонта. Но если в разрезе имеются пласты несвязных пород (песок водонасыщенный *9*), нарушается постоянство давления и оно снова увеличивается по гидростатическому закону.

Вследствие этого на пласт кровли *5* вышележащие породы будут оказывать давление

$$p_3 = \frac{1}{10}(h_1 \gamma_{01} + h_3 \gamma_{03}), \qquad \text{(IX.5)}$$

где $\gamma_{01}$ и $\gamma_{03}$ — плотность пород. Ниже этого пласта величина давления до начала эксплуатируемого водоносного пласта *10* остается

постоянной. Незакрепленная порода, которая стремится обрушиться в воронку, расположена внутри параболического свода обрушения *3*, имеющего высоту $h_п$ «свободное тело». Но при цементации колонны центральная часть «свободного тела» связывается с обсадной колонной, в результате чего высота «свободного тела» уменьшается. Она приобретает вид свода обрушения, образованного вращением параболы около вертикальной оси *4* с высотой $h_ф$.

**Расчет бесфильтровой скважины.** Высота параболического обрушения $h_п$ по характерному для нее закону равна

$$h_п = R_k / \operatorname{tg} \alpha, \qquad (IX.6)$$

где $R_k$ — допустимый радиус основания воронки; $\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла внутреннего трения или угла внутреннего сопротивления для плотных пород, слагающих кровлю над водоносным горизонтом (табл. 35).

*Таблица 35*

**Значение tg φ для различных горных пород**

| Горные породы | tg φ | Среднее значение tg α |
|---|---|---|
| Глины пластичные . . . . | 0,48—1,19 | 0,78 |
| Сланцы глинистые, брекчии на глинистом цементе . | 1,19—2,74 | 1,73 |
| Известняки и песчаники средней плотности . . . . . | 2,75—5,67 | 3,73 |
| Полевой шпат, кварцевые породы, гранитный сиенит, габбро . . . . . | 5,67—11,43 | 7,45 |

Нельзя допускать обрушения «свободного тела» в воронку, так как вследствие этого полость воронки может изолировать водоносный горизонт от ствола скважины.

Устойчивость кровли сохраняется при соблюдении условия

$$h_п \leqslant \frac{\gamma (H_{ст} - S_{max})}{(1 - m_к)\gamma_к - \gamma m_к} \text{ м}, \qquad (IX.7)$$

где $\gamma$ — плотность воды, равная 1; $\gamma_к$ — плотность породы кровли в с/м³; $H_{ст}$ — статический уровень воды (считая от глубины кровли — непониженный столб воды в скважине) в м; $S_{max}$ — наибольшая величина понижения уровня воды в м; $m_к$ — пористость породы кровли в долях единицы.

По формулам (IX.6) и (IX.7) величина допустимой высоты параболического свода $h_п$ определяется с большим запасом.

Из допустимой высоты $h_п$ и формул (IX.6) и (IX.7) допустимый радиус воронки $R_k$ будет равен

$$R_k \leq \frac{\gamma (H_{ст} - S_{max}) \operatorname{tg} \alpha}{(1 - m_к)\gamma_к + \gamma m_к} \text{ м}. \qquad (IX.8)$$

Зная величину допустимого радиуса воронки $R_k$, можно определить максимально допустимый дебит скважины

$$Q = 3600 \pi v_{доп} h_k^2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (IX.9)$$

где tg φ — тангенс угла естественного откоса породы в воде (табл.36); $v_{доп}$ — допустимая выходная скорость фильтрации в м/с; $R_k$ — допустимый радиус основания воронки в м.

*Таблица 36*

**Значения tg φ угла естественного откоса под водой пород, слагающих водоносные горизонты**

| Порода | Угол естественного откоса φ, градусы | tg φ |
|---|---|---|
| Песок мелкий, плистый (плывун) . . . . . | 0—15 | 0—0,27 |
| Песок средней крупности . | 25—30 | 0,47—0,61 |
| Песок крупный, гравелистый | 35 | 0,7 |
| Галечник с песком . . . . | 25 | 0,47 |

Объем воронки ориентировочно определяется по формуле круглого прямого конуса

$$V_к = \frac{1}{3} \pi R_k^2 h_k, \qquad (IX.10)$$

где $h_k$ — глубина воронки в м.

Объем воронки можно определить по количеству выносимого песка по формуле

$$V_k = V_п / \xi, \qquad (IX.11)$$

где $V_п$ — объем вынесенного песка из скважины в м³; ξ — коэффициент разрыхления песка, следует принимать до 1,25.

Как указывают В. М. Гаврилко и О. К. Киселев, нередко прочность кровли недостаточна для устойчивости бесфильтровой скважины; при этом кровлю укрепляют искусственно [114].

В. М. Беляков и Н. Г. Сапожников [40] рекомендуют несколько более простой метод расчета устойчивости кровли, исходя из условия поддерживания свода обрушения давлением столба воды. Для глин это условие выражается

$$h_k \leq \frac{H - S}{2} \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha; \qquad (IX.12)$$

для скальных пород

$$h_k \leqslant \frac{H-S}{2{,}65}, \operatorname{tg}\varphi : \operatorname{tg}\alpha, \qquad (IX.13)$$

где $h_k$ — глубина воронки; $H$ — статический напор в плоскости кровли водоносного горизонта, $S$ — понижение уровня воды при откачке; $\operatorname{tg}\varphi$ — тангенс угла естественного откоса под водой пород, слагающих воронку; $\operatorname{tg}\alpha$ — тангенс угла внутреннего трения для различных пород.

Высота параболического свода обрушения определяется по следующей формуле:

$$h_п = R_k/\operatorname{tg}\alpha, \qquad (IX.14)$$

где $R_k$ — радиус основания воронки (рис. 53), (табл. 35, 36) Высота свода обрушения не должна превышать двух третей мощности кровли.

Требования к проектированию бурения бесфильтровых скважин существенно не отличаются от общих требований, предъявляемых к обычным скважинам. Бурить их можно и ударно-канатным и роторным способами, причем, как показал опыт, вследствие лучших условий для обеспечения цементирования над водоприемной частью последний имеет даже некоторое преимущество.

Некоторой особенностью технологии самого процесса бурения является целесообразность сооружения отстойника (на поверхности земли) объемом в 2—3 раза больше обычного в виде нескольких емкостей, что следует предусматривать в проекте организации работ. Вызывается это необходимостью иметь запас воды для закачки ее в скважину при формировании воронки при условии недостаточного поступления воды из водоносного горизонта.

Откачки бесфильтровых скважин следует проектировать только эрлифтами, так как при разработке воронок выносится большое количество песка (иногда до 200 м³). Поэтому оголовок эрлифта следует предусматривать с выбросными трубами, соответствующими длины для отвода пульпы на достаточное расстояние от скважины.

Как показывает опыт работы, продолжительность бесперебойной эксплуатации бесфильтровых скважин увеличивается, если засыпать гравием образовавшиеся воронки, не прекращая при этом откачки.

## § 10. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН И РАСЧЕТЫ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

В настоящее время понятия глубоких и неглубоких скважин являются весьма относительными. За рубежом на нефтяных месторождениях глубина скважин уже превышает 8500 м, в отечественной практике эксплуатационные скважины глубиной свыше 5000 м на аналогичных месторождениях также не представляются редкостью.

Предел глубины залегания водоносных горизонтов, пригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения, составляет около

1000 м. Исходя из этого, а также из данных о глубинах скважин для водоснабжения и орошения, проходимых на территории СССР, представляется возможным предложить следующее их подразделение: 1) скважины неглубокие до 100 м; 2) скважины средней глубины от 100 до 300 м, 3) скважины глубокие свыше 300 м.

Гидрогеологическое обоснование проекта глубокой разведочно-эксплуатационной скважины ничем не отличается от гидрогеологического обоснования проекта любой скважины для тех же целей. Что же касается технологической (специальной) части проекта, то она должна быть разработана более детально, чем при проектировании скважин неглубоких и скважин средней глубины, и необходимо, чтобы в проектировании принимал участие технолог (специалист по бурению).

Целесообразность участия специалиста по бурению в составлении проекта вызывается необходимостью проведения некоторых специальных поверочных расчетов, как-то: на страгивающее усилие для данной колонны труб, на ее смятие, на удлинение в результате растяжения под влиянием собственного веса и др. По данным А. В. Малоян и Э. А. Малоян [85], обсадные трубы по ГОСТ 632-64 диаметрами 168 и 219 мм наинизших групп прочности (С и Д) имеют достаточный запас прочности на страгивание и на смятие (А трубами такого диаметра только и возможно достижение больших глубин) при спуске их на глубину 800—1000 м.

Несмотря на это, все же для поверки надежности колонны в сложных гидрогеологических условиях целесообразно привести здесь некоторые элементарные формулы расчета обсадных труб.

Сминающее давление для труб определяют по формуле Саркисов

$$p_{см} = 1{,}1k_{min}\left\{\sigma_p + Ek_0^2\rho\left(1+\frac{3e}{4k_{min}\rho^3}\right) - \right.$$

$$\left. - \sqrt{\left[\sigma_p + Ek_0^2\rho\left(1+\frac{3e}{4k_{min}\rho^3}\right)\right]^2 - 4Ek_0^2\rho\sigma_p}\right\}, \qquad \text{(IX.15)}$$

где $p_{см}$ — сминающее давление в кгс/см$^2$;

$$k_{min} = \sigma_{min}/D;$$

$$k_0 = \sigma_0/D;$$

$$\rho = \sigma_0/\sigma_{min};$$

$\sigma_{min}$ — минимальная толщина стенки трубы в см; $D$ — наружный диаметр трубы в см; $\sigma_0$ — условная расчетная средняя толщина стенки разностенной трубы в см; $E$ — модуль упругости материала трубы, равный для стали $2{,}1 \cdot 10^6$ кгс/см$^2$; $\sigma_p$ — предел пропорциональности материала трубы в кгс/см$^2$; $e$ — овальность трубы, выраженная отношением $\frac{U}{D}$ ($U$ — абсолютное значение номинальной овальности, определяемое как разность между наибольшим и наименьшим диаметрами трубы).

Наружное давление на колонну обсадных труб, создаваемое столбом жидкости в скважине, определяют по формуле

$$p=0{,}1\,[L\gamma_р-(L-H)], \qquad (IX.16)$$

где $p$ — давление в кгс/см²; $L$ — длина колонны в м; $\gamma_р$ — удельный вес промывочного раствора в гс/см³; $H$ — глубина снижения уровня раствора в колонне от устья скважины в м.

Если на трубы оказывают давление породы пласта в пределах эксплуатируемого горизонта, рекомендуется пользоваться следующей зависимостью:

$$p=0{,}1H\gamma_р+0{,}1H\gamma_п\,(k_0-k_1), \qquad (IX.17)$$

где $H$ — расстояние от места определения давления на колонну до устья скважины в м; $\gamma_п$ — средний удельный вес пород, залегающих выше того места, для которого определяют давление, в гс/см³; $\gamma_р$ — удельный вес промывочного раствора в гс/см³; $k_0$ — коэффициент бокового давления свободной породы, равный для песков 0,42, для глин 0,7—0,75; $k_1$ — коэффициент внутреннего трения скелета породы, равный для песков 0,12, для глин 0,44 [85].

Резьбовое соединение на страгивающее усилие рассчитывают по формуле Яковлева

$$P_{стр}=\frac{\pi b_2 D_2 \sigma_p}{1+\frac{D_2}{2l}\operatorname{ctg}(\gamma+\varphi)}, \qquad (IX.18)$$

где $p_{стр}$ — страгивающее усилие в кгс; $b_2$ — толщина стенки труб по впадине первой полной нитке резьбы, находящейся в зацеплении, в см; $D_2$ — средний диаметр трубы по первой полной питке, находящейся в зацеплении (пятая нитка от сбега резьбы), в см; $\sigma_p$ — предел пропорциональности материала трубы в кгс/см²; $l$ — длина резьбы до основной плоскости (нитки с полным профилем) в см; $\gamma$ — угол, составленный направлением опорной поверхности резьбы и осью трубы, в градусах; $\varphi$ — угол трения, принимаемый равным 18°.

В табл. 37 приведены показатели прочности обсадных труб из стали различных групп.

*Таблица 37*

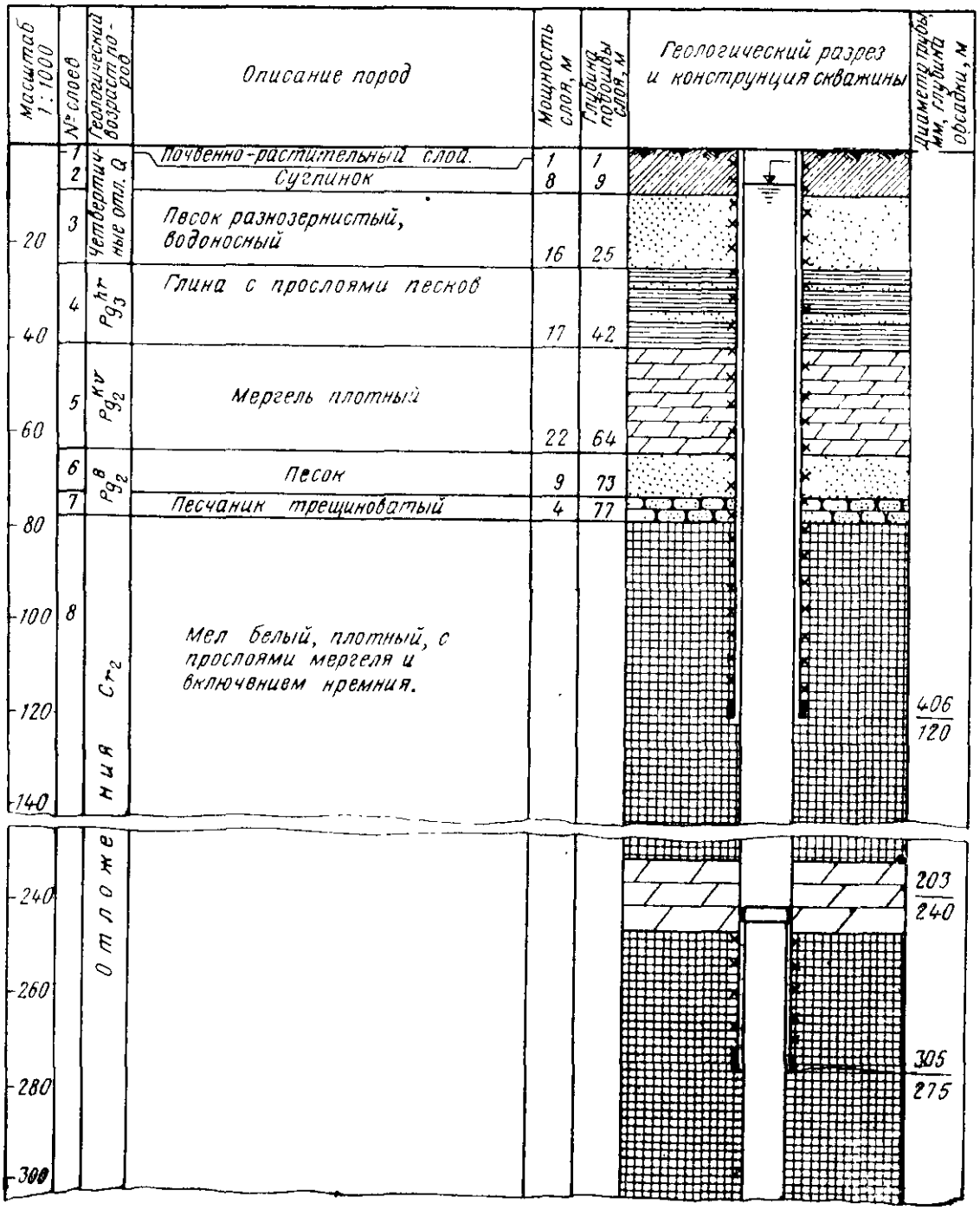
**Трубы обсадные с короткой и нормальной резьбой**

| Наружный диаметр трубы, мм | Испытательное гидравлическое давление, кгс/см², для труб из стали групп прочности | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | С | Д | К | Е | Л |
| 146 | 225—250 | 250 | 355—600 | 390—660 | 460—700 |
| 168 | 195—250 | 235—250 | 310—570 | 340—630 | 400—700 |
| 219 | 165—250 | 195—250 | 255—440 | 280—480 | 330—570 |
| 273 | 100—170 | 115—200 | 155—265 | 170—290 | 200—345 |

*Примечания*: 1. Данные, приведенные в табл. 37, являются выдержкой из ГОСТ 632-64.

2. Цифры, указанные через тире, являются пределом прочности труб данного диаметра с различной толщиной стенки от 6,5 до 12 мм. Для промежуточных величин толщины стенки искомые допустимые давления можно ориентировочно определять путем интерполяции.

3. Прочность труб обсадных с удлиненной резьбой в 1,5—2 раза выше указанной в настоящей таблице.




Запас прочности труб на смятие находят из выражения

$$m = p_{см}/p, \qquad (IX.19)$$

где $p_{см}$ — сминающее давление по формуле (IX.16); $p$ — действительное сминающее давление, действующее на обсадную колонну, равное $\gamma_р H/10$ (здесь $H$ — предельная глубина спуска колонны в м; $\gamma_р$ — удельный вес промывочного раствора).

Запас прочности на страгивание определяют по формуле

$$m = P_{стр}/Q_{max} \qquad (IX.20)$$

где $P_{стр}$ — страгивающее усилие, вычисляемое по формуле (IX.18); $Q_{max}$ — максимальная нагрузка на муфтовое соединение, равная суммарному весу опускаемой колонны.

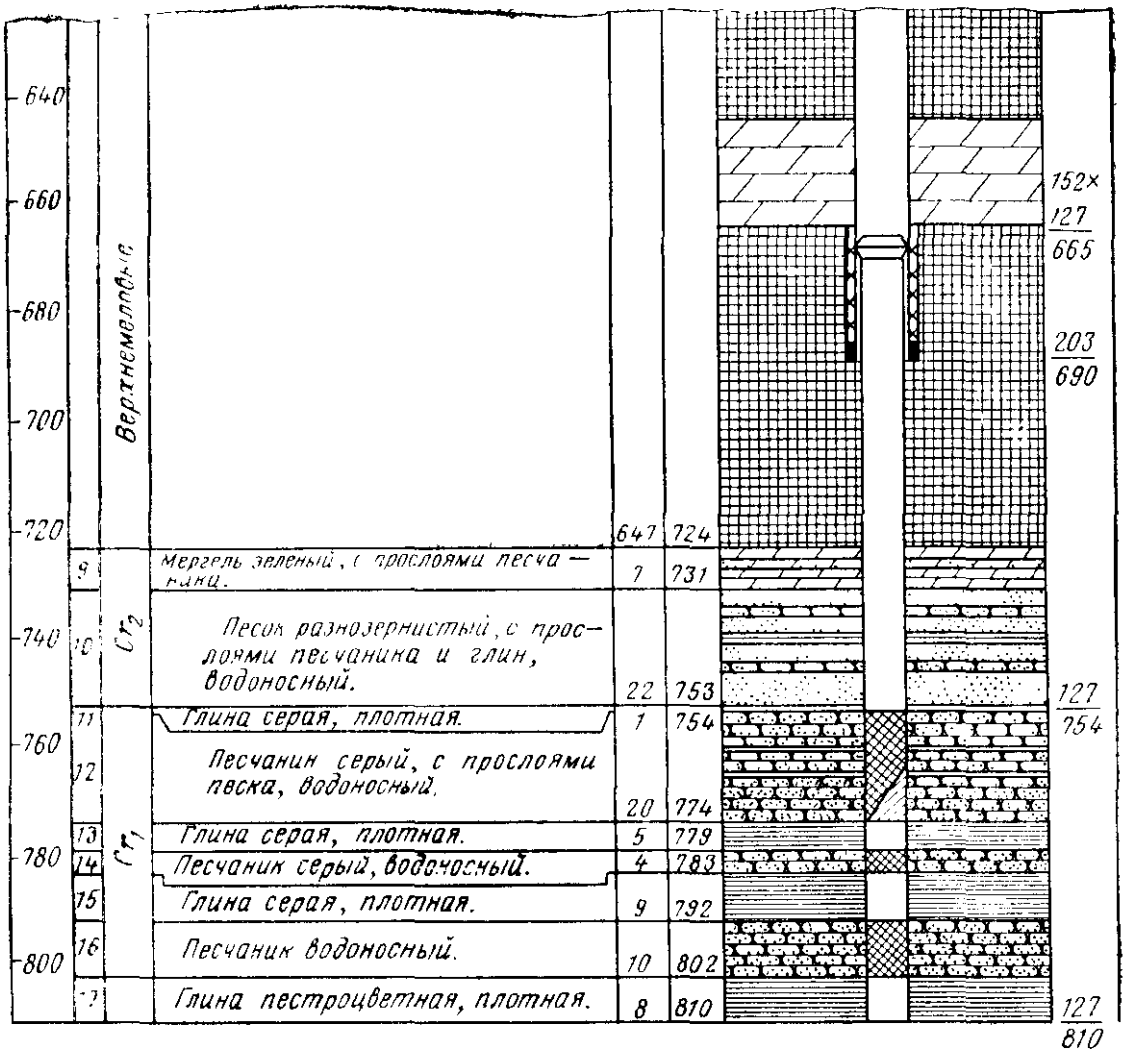



Рис. 54. Геолого-технический разрез правильно спроектированной и сооруженной глубокой действующей скважины на воду

При расчетах эксплуатационных колонн рекомендуется принимать следующие запасы прочности [85]:

1) на страгивание — 1,15—1,2;

2) на смятие:

а) для интервала высоты подъема цементного раствора — 1,3;

б) выше интервала высоты подъема цементного раствора — 1,15.

При оборудовании глубоких скважин фильтровыми колоннами весьма важно точно установить водоприемную часть последних в пределах мощности вскрытого водоносного горизонта. Для этого следует принимать во внимание, что действительная длина фильтровой колонны в результате растяжения под действием собственного веса несколько больше, чем измеренная первоначально. Удлинение колонны определяют по формуле

$$\lambda = \frac{PL}{EF}, \qquad \text{(IX.21)}$$

где $\lambda$ — удлинение колонны в см; $P$ — общий вес колонны в кг; $L$ — длина колонны в см; $E$ — модуль упругости стальных труб в кгс/см$^2$; $F$ — площадь сечения труб в см$^2$.

А. В. Малоян, и Э. А. Малоян, в частности, приводят пример, из которого видно, что удлинение фильтровой колонны диаметром

219 мм с толщиной стенок 10 мм общей длиной 800 м и весом 47,5 т составит 27,5 см, а это величина, которой нельзя пренебрегать при стремлении установить фильтр в точно намеченном месте.

На рис. 54 показан геолого-технический разрез правильно спроектированной и сооруженной глубокой скважины, действующей в составе одного из групповых водозаборов промышленного предприятия.

Скважина пробурена станком УРБ-4ПМ на глубину 810 м и вскрыла высоконапорный водоносный горизонт в трещиноватых песчаниках нижнемелового возраста. Водоприемная часть — в виде трехъярусного проволочного фильтра диаметром 127 мм на глубине 754—774 м, 779—783 м и 792—802 м. Статический уровень воды в скважине на глубине 7 м ниже устья. Данные опробования показали дебит 56 м³/ч при понижении на 16 м и 63 м³/ч при понижении на 19 м. Общая минерализация около 0,7 г/л, жесткость постоянная 0,33 мг-экв/л.

Приведенные сведения показывают, что в некоторых районах на сравнительно больших глубинах подземные воды по своему составу вполне соответствуют требованиям ГОСТ.

## § 11. ОСНОВНЫЕ ОШИБКИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СКВАЖИН

### По условиям технологии бурения, опробования и эксплуатации

1. Проектирование конструкции скважины с обсадкой трубами очередных диаметров при роторном бурении, а также трубами очередных диаметров при роторном бурении, а также трубами очередных диаметров с толстостенными муфтами при ударно-канатном бурении.

2. Проектирование конструкции скважины с чрезмерно большими выходами колонн обсадных труб.

3. Проектирование проходки контакта между связными и скальными породами ударно-канатным способом и дальнейшее бурение в скальных породах с параллельной обсадкой колонн труб того же диаметра.

4. Проектирование конструкции скважины, в которой башмак эксплуатационной колонны предусмотрено остановить в водоупорных породах на контакте с кровлей водоносной породы.

5. Проектирование расположения рабочей части фильтра за пределами кровли и подошвы водоносного горизонта — в водоупорных породах.

6. Проектирование перехода (смены диаметра) обсадных колонн в слое песков, когда этого можно избежать.

7. Проектирование лишних понижений при откачке, когда в этом нет необходимости.

8. Требование излишней продолжительности откачки для напорных, хорошо изученных горизонтов.

## По условиям технологии бурения

1. При проектировании бурения скважины ударно-канатным способом глубиной, например, 100 м и необходимости сохранения диаметра эксплуатационной колонны 203 мм независимо от геологического разреза неправильно намечать конструкцию со следующей сменой диаметра обсадных труб: 305 мм до глубины 30 м, 255 мм до глубины 60 м и 203 мм до глубины 100 м. Правильной конструкцией в данных условиях будет следующая: 404—305—203 мм, причем колонны труб должны быть доведены до тех же глубин.

При проектировании бурения скважины роторным способом глубиной, например, 300 м и необходимости сохранения диаметра эксплуатационной колонны также 203 мм неправильно намечать конструкцию со следующей сменой диаметра обсадных труб (не считая направления): 255-мм кондуктор до глубины 50—60 м и 203-мм эксплуатационная колонна до глубины 300 м.

Правильной конструкцией в данных условиях будет следующая (также не считая направления); 305-мм кондуктор до глубины 50—60 м и 203-мм эксплуатационная колонна до глубины 300 м. При этом следует проектировать бурение под колонну 305 мм долотом диаметром 394 мм, а под колонну 203 мм долотом диаметром 295 мм.

2. При проектировании бурения скважин ударно-канатным способом следует иметь в виду, что допустимая величина выхода отдельных колонн обсадных труб находится обычно в пределах 25—35 м и очень редко может быть большей [1].

Выход зависит от диаметра обсадной колонны и от состояния свойств и характера чередования проходимых пород.

Независимо от особенностей проходимых пород для обсадных труб больших диаметров (486, 404, 355 мм) следует принимать сравнительно небольшие выходы — 20—25 м, а для обсадных труб средних и меньших диаметров (305, 255, 203 мм) выход в проектируемой конструкции может быть увеличен до 30—40 м.

На величину выхода колонны влияют также особенности геолого-гидрогеологического разреза. В вязких пластичных глинах выход колонн всегда следует намечать меньше, чем, например, в устойчивых мелах и мергелях. В рыхлых водоносных галечниках выходы обсадных труб уменьшаются при проходке их колоннами небольших диаметров. Выходы колонн можно несколько увеличивать при проектировании бурения в галечниках забойным инструментом большого диаметра и при обсадке трубами тоже большого диаметра; выход колонны может при этом увеличиваться вследствие работы желонкой большого диаметра, которая не дробит, а извлекает галечник с забоя.

Можно проектировать увеличенные выходы колонны при проходке, например, лессовидных пород, имеющих обычно среднюю

---

[1] *За исключением скважин, в которых обсадка колонн намечается с помощью так называемой тиксотропной «рубашки» и выход колонны в 2—3 раза превышает обычный.*

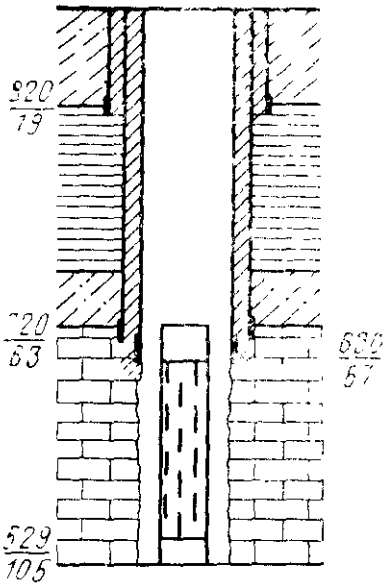



Рис. 55. Неправильная конструкция скважины ударно-канатного бурения (необоснованно большие диаметры обсадных колонн и их количество, подбашмачная цементация, щелевой фильтр)

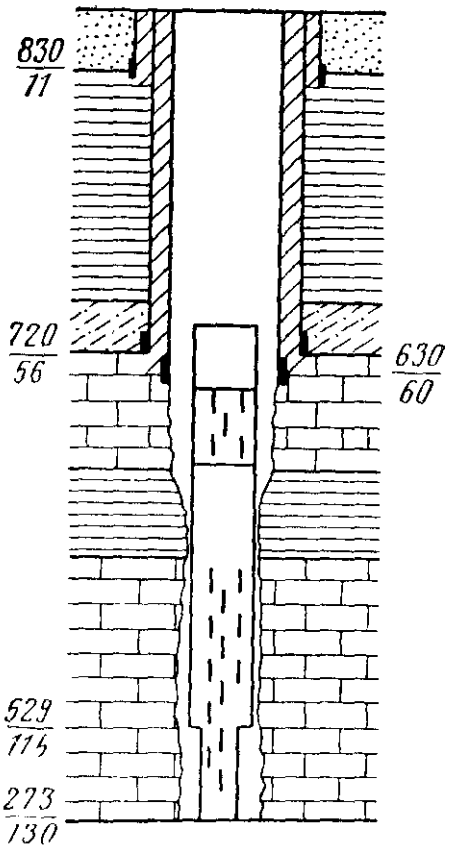



Рис. 56. Неправильная конструкция скважины (щелевой фильтр с переходом на меньший диаметр)

плотность, весьма устойчивых и не отличающихся вязкостью, и хорошо сохраняющих вертикальность стенок скважины благодаря своим структурным связям.

При частом чередовании в разрезе прослоев связных и рыхлых, водоупорных и водоносных пород особенно сильно уменьшается длина выхода колонны при ударно-канатном бурении. При переходе обсадной колонны из водонасыщенных песков в водоупорные суглинки или глины пески проникают в зазор между наружной поверхностью трубы и стенкой скважины, увеличивают силу трения на боковой поверхности и преждевременно заклинивают колонну. При подобных предполагаемых разрезах в проектах следует намечать минимальные выходы колонн обсадных труб больших диаметров и только незначительно увеличивать эти выходы для колонн среднего и небольшого диаметров. Ориентировочно можно считать, что при проходке только одного контакта водоносных и водоупорных пород сила трения, создающаяся на боковой поверхности трубы, в зависимости от ее диаметра может быть равноценна силе трения, создающейся в результате проходки 10—15 м по тем же породам, но однородным, не чередующимся.

На рис. 55—58 изображены неправильные конструкции скважин, спроектированные для одного крупного группового водозабора. Все скважины намечено бурить ударноканатным способом. Неправильности заключаются в следующем: 1) предусмотрены необосно-

ванно большие диаметры обсадных труб (в том числе и эксплуатационной колонны); 2) излишнее количество колонн; 3) допущены излишне большие выходы колонн; 4) предусмотрена установка щелевых фильтров, имеющих наименьшую скважность (все замечания относятся ко всем скважинам).

Максимально производительные насосы типа ЭЦНВ-16-300-180 обеспечивают расход воды до 360 м³/ч, имеют высоту напора 180 м при наружном габарите агрегата 358 мм. При таких условиях эксплуатационная колонна наружным диаметром 426 мм и внутренним диаметром 406 мм или наружным диаметром 508 мм и внутренним диаметром 486 мм, будет вполне пригодна для монтажа такого насоса. Если имеются в виду необходимость спуска насоса непосредственно в фильтровую колонну, этого можно достичь, применив в качестве эксплуатационной колонны трубы диаметром 508 мм и в качестве фильтровой — трубы диаметром 426 мм (наружный диаметр муфт 451 мм).

Скважины, изображенные на рис. 57, 58, целесообразно бурить роторным способом двухлопастным долотом диаметром 590 мм до тре-

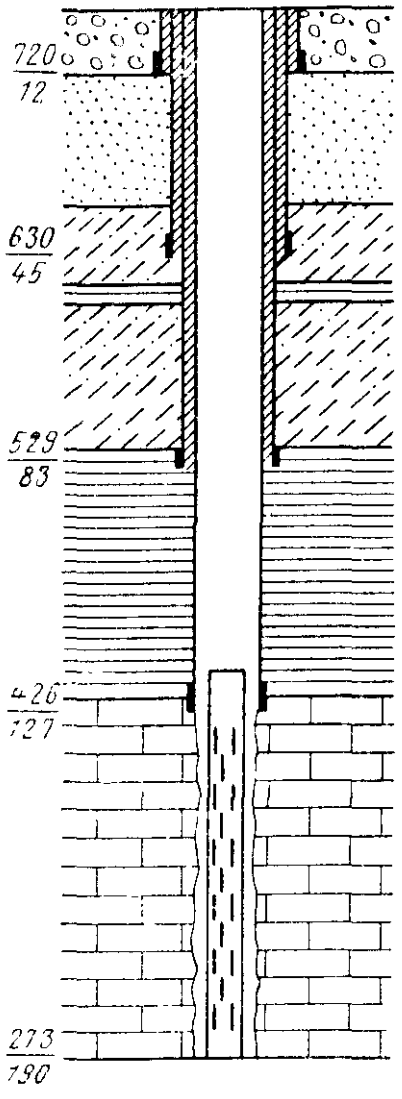



Рис. 57. Неправильная конструкция скважины (недопустимо большие выходы колонн)

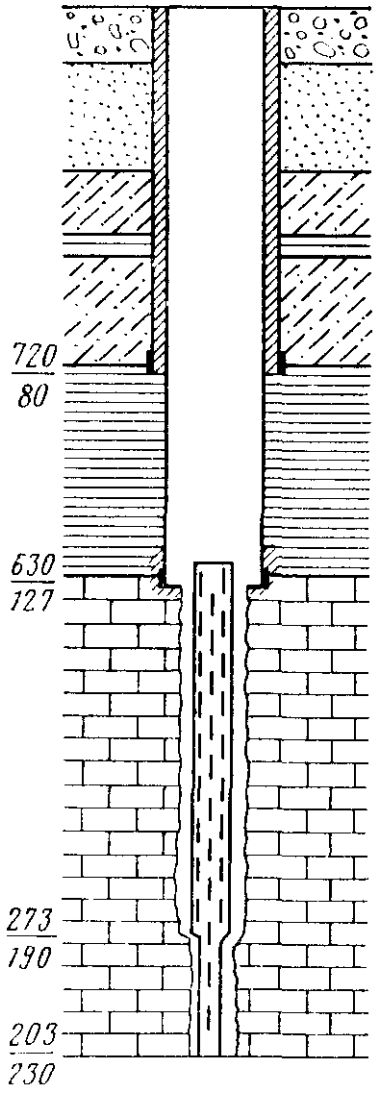



Рис. 58. Пример неправильно спроектированной скважины

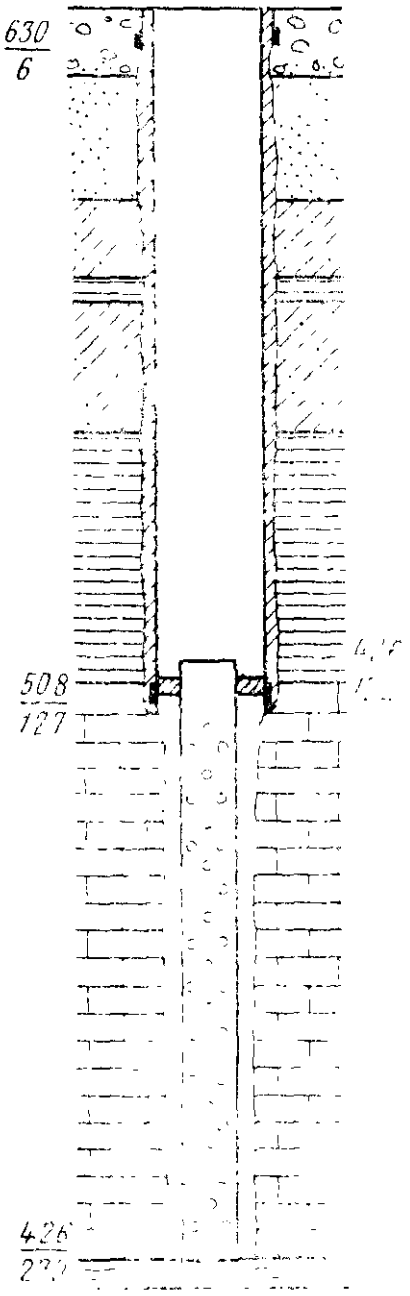



Рис. 59. Правильная конструкция скважины (вместо изображенной на рис. 58, три предыдущие могут быть спроектированы аналогично с внесением поправок на глубину)

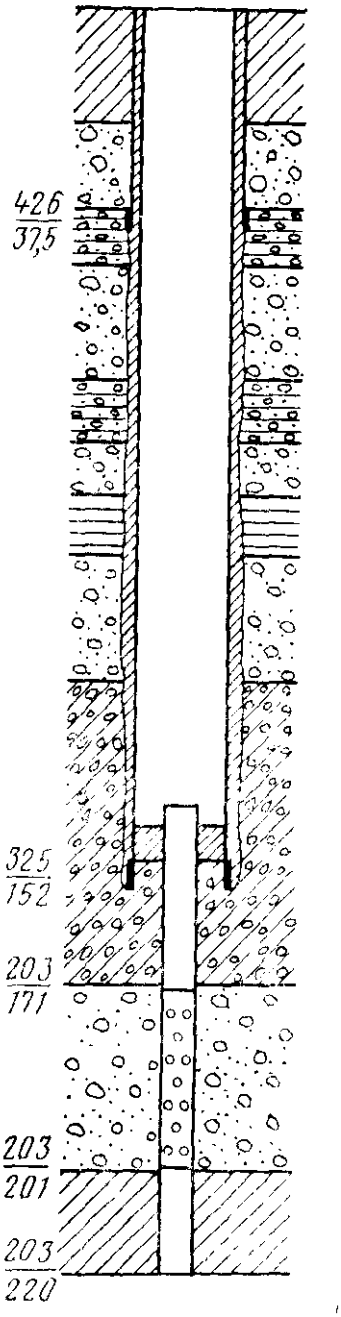



Рис. 60. Пример правильно спроектированной и сооруженной скважины вскрывающей весьма водообильный, высоконапорный водоносный горизонт, фильтр каркасно-проволочный

щиноватых водоносных известняков на глубине около 127 м и заглубиться ниже их кровли на 2—3 м. Затем спустить эксплуатационную колонну диаметром 508 мм*, предусмотрев затрубную цементацию ее с двумя пробками до устья. Дальнейшее бурение по известнякам до глубин запроектированных забоев вести трехшарошечным долотом диаметром 490 мм с промывкой чистой водой. По окончании бурения установить в скважины перфорированные трубы и провести опробование скважин. На рис. 59 показана рекомендуемая конструкция скважины, намеченная в соответствии с описанной выше технологией бурения (взамен конструкции, изображенной на рис. 58). Для остальных скважин (см. рис. 55, 56, 57) могут быть предложены аналогичные конструкции с соответствующими поправками длины колонн на глубину скважин.

Стремление авторов проекта к непомерно большим диаметрам скважин привело в свою очередь к громоздкости конструкций и к излишним колоннам труб (см. рис. 56). Башмаки колонн диаметром 720 мм и 630 мм, как видно из рисунка, расположены на почти

---

* *Бурение скважин подобной конструкции вполне может быть осуществлено станком 1БА-15В, обеспечивающим грузоподъемность 20 т. Как можно убедиться из данных табл. 25, вес колонны диаметром 508 мм и длиной 127 м вместе с муфтами намного не достигает 20 т.*

одинаковой глубине, по-видимому, только для того, чтобы обеспечить возможность между трубной цементации.

Выходы колонн указанных диаметров предусмотрены столь значительными, что они вряд ли возможны даже при условии применения метода тиксотропной «рубашки», не говоря уже о методах обычной посадки труб. Особенно это касается скважин, изображенных на рис. 55 и 58. Для них же предусмотрена подбашмачная цементация, которая при ударно-канатном бурении практически неосуществима вследствие своей малоэффективности. Кроме того, если даже допустить возможность спуска колонн на указанные глубины, то необходимо было бы проверить их расчетом на смятие. Судя по диаметрам, в проекте предусмотрены трубы электросварные (по ГОСТ 10704-63), но они отличаются значительной овальностью, что делает их особо чувствительными к смятию.

Существенным недостатком проекта являются предусмотренные в нем щелевые фильтры, обладающие минимальной скважностью 10—12% и создающие вследствие этого большое сопротивление. В данном случае следовало предусмотреть трубы с круглой перфорацией, обеспечивающей скважность около 30%.

При роторном бурении чередование рыхлых и плотных, водоносных и водоупорных пород не влияет на величину возможного выхода колонны, поэтому такие особенности разреза можно не учитывать при проектировании проходки скважины роторным способом.

На рис. 60—62 показаны конструкции правильно сооруженных скважин, пробуренных на участке крупного группового водозабора на периферийной части мощного конуса выноса. Верхние части разрезов обобщены и схематизированы, водоприемные части представлены в точном соответствии с фактическими сведениями. Все скважины пробурены роторным способом, станком УРБ-3АМ вскрыли высоконапорный

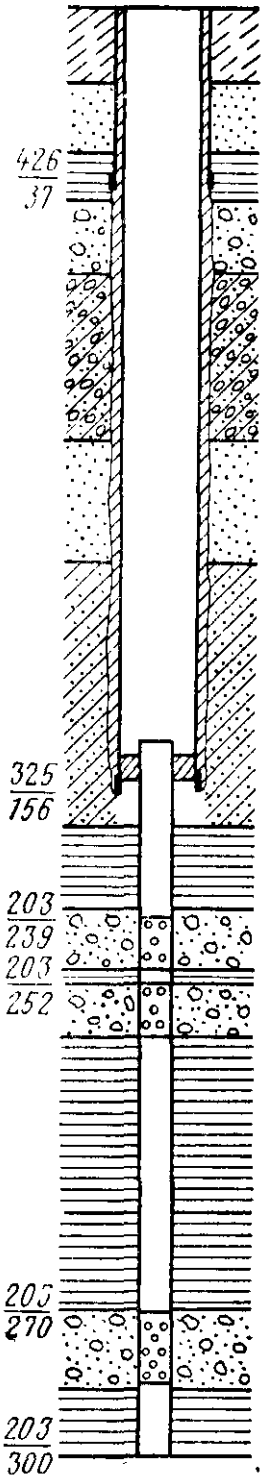



Рис. 61. Пример правильно спроектированной скважины

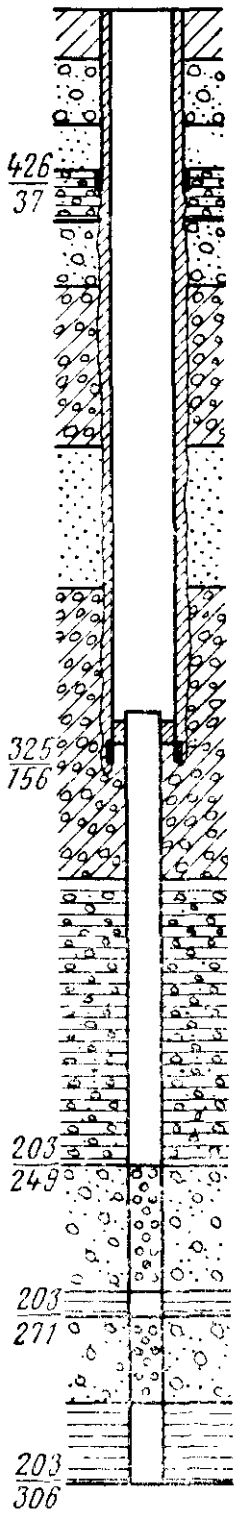



Рис. 62. Пример правильно спроектированной скважины

водообильный водоносный горизонт: для скважины (рис. 60) статический уровень 15 м выше устья, дебит при самоизливе на высоте 1,2 м над устьем 130 м³/ч, для скважины (рис. 61) статический уровень +40 м выше устья, дебит при самоизливе на уровне устья 240 м³/ч, для скважины (рис. 62) статический уровень +40 м выше устья, дебит при самоизливе на уровне устья 180 м³/ч.

Приведенные три разреза скважин разнотипны и по ярусности водоносных слоев и по водообилию. Всего их на данном водозаборе около 15 и расположены они на одном месторождении на площади 1—1,5 км². Приведенный пример, в частности, может служить неплохой иллюстрацией того, что типовое (следовательно — однотипное) проектирование скважин не приемлемо.

3. При проектировании проходки ударно-канатным способом контакта между связными (или рыхлыми) и скальными породами нередко ошибочно предусматривают бурение на этом отрезке и далее забойным инструментом одного и того же диаметра и обсадку скважины колонной труб также без смены ее диаметра (рис. 63, *а*). Колонну обсадных труб, прошедшую несколько десятков метров в связных или рыхлых грунтах, нельзя углубить в скальные породы забивкой более чем на 1 м ниже их кровли; попытки дальнейшего углубления могут привести только к смятию башмака и аварии. В подобных случаях в проекте необходимо предусматривать дальнейшее уменьшение диаметра скважины и проходку устойчивых скальных пород забойным инструментом без спуска обсадной колонны с тем, чтобы в пройденный ствол спустить обсадную колонну меньшего диаметра (рис. 63, *б*).

Например, если на контакте со скальными породами должна быть колонна диаметром 305 мм, то в проекте надо предусматривать дальнейшее бурение долотом диаметром 298 мм с последующим спуском обсадной колонны диаметром 203 мм.

При указанных особенностях геологического разреза подобный контакт мягких и твердых пород для роторного бурения можно проходить забойным инструментом одного и того же диаметра, при этом следует проектировать только замену долота, например, двухлопастного долота на трех- или четырехшарошечное [1].

Возможность проектирования проходки по контактам мягких и скальных пород без уменьшения диаметра скважины при роторном бурении объясняется особенностями его технологии. При роторном бурении ствол скважины, как известно, проходят без обсадки (колонну труб опускают после проходки) и вследствие этого не возникает необходимости в сужении ствола скважины при переходе от мягких пород к твердым — скальным.

4. Довольно распространенной ошибкой проектирования является остановка эксплуатационной колонны труб «впритык» с водоносным горизонтом, без заглубления в него (рис. 64, *а*). При любом способе бурения неправильно проектировать остановку эксплуатационной

[1] *В последнее время шарошечными долотами бурят также и мягкие породы.*

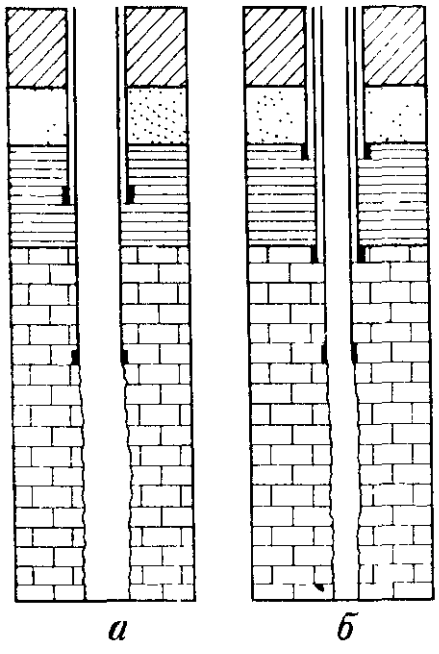



Рис. 63. Проектная конструкция скважин для бурения ударно-канатным способом:

а — неправильная; б — правильная

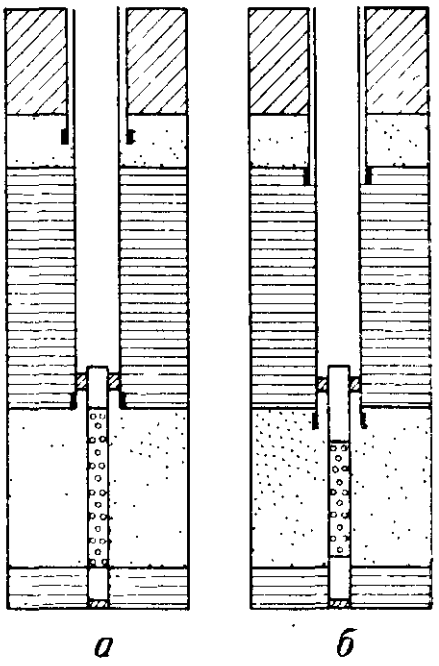



Рис. 64. Проектная конструкция скважин:

а — неправильная; б — правильная

колонны на контакте с кровлей водоносного горизонта независимо от того, какими породами он представлен — обломочными рыхлыми или скальными трещиноватыми.

Сущность указанной ошибки заключается в том, что при подобной конструкции во время откачки из скважины почти неизбежно мутнеет вода, а иногда над водоносным горизонтом частично обрушается водоупорная кровля. Последнее способствует не только помутнению воды, но может также стать причиной засорения фильтра и уменьшения дебита скважины. Иногда обрушение кровли может обусловить полный выход скважины из строя.

Необходимо всегда проектировать заглубление эксплуатационной колонны в водоносную породу (рис. 64, *б*). Величину этого углубления следует намечать каждый раз особо в зависимости от конкретных геолого-гидрогеологических условий, расчетной производительности скважины и принятого способа бурения. Возможные сочетания трех указанных факторов могут быть довольно многообразны и многочисленны. Всегда следует иметь в виду, что при углублении эксплуатационной колонны в водоносный горизонт создается относительная изоляция водоупорных пород, но в то же время уменьшается мощность водоносного горизонта в зоне водоприемной части скважины. Поэтому при прочих равных условиях величина этого углубления должна быть меньшей для водоносных горизонтов незначительной мощности. Для наиболее часто встречающихся указанных сочетаний можно дать следующие рекомендации.

Величина углубления должна быть большой, если водоупорные породы кровли над водоносным горизонтом представлены недостаточно плотными песчанистыми глинами или суглинками. Эта величина может быть уменьшена, если глины достаточно плотны (например, темно-серые и черные верхнеюрские глины) и не содержат песчаных частиц (например, кирпично-красные верейские, карбоновые глины).

Если водоносный горизонт с напорными водами представлен сильно трещиноватыми скальными породами, а в кровле водоносного горизонта залегают непрочные глины, супесчаные породы или мелкие пески, то глинистые или пылеватые и мелкие песчаные частицы легко проникают в водоносный горизонт, вызывая помутнение воды или пескование скважины.

При проектировании бурения скважины роторным способом возникновение этих явлений можно предупредить цементированием затрубного пространства эксплуатационной колонны или частичным манжетным цементированием надфильтровой зоны. Если же намечено бурить скважину ударно-канатным способом, то единственным средством избежать проникновения мутной воды и песка под башмак эксплуатационной колонны является как можно большее углубление ее в водоносную породу.

Проектирование так называемого подбашмачного цементирования при ударном бурении обычно неэффективно по следующим причинам. В настоящее время нет расширителей и подработка забоя в скальных породах для цементирования может осуществляться только инструментом стандартного диаметра (например, в трубах с внутренним диаметром 305—301 мм долотом диаметром 298 мм). Следовательно, цементная пробка в скальных породах будет иметь наружный диаметр также около 297 мм. При необходимости оборудования водоприемной части скважин в скальных сильно трещиноватых водоносных породах перфорированными трубами диаметром 203 мм (наружный диаметр 219 мм, диаметр муфт 243 мм) цементная пробка должна быть разбурена долотом диаметром не менее 248 мм. При этом толщина стенки цементного стакана по расчету должна составить всего лишь 25 мм, а практически он будет раздроблен долотом и не выполнит своего назначения.

Поэтому более целесообразно проектировать установку так называемого безмуфтового клина (рис. 65), который может быть установлен на уступ в скальной породе и, удлиняя пути фильтрации, должен предотвратить поступление мутной воды и песка в водоприемную часть скважины.

Если для эксплуатационной колонны предусмотрен диаметр 305 мм, то диаметр клина длиной 5—6 м можно проектировать равным 255 мм (наружный диаметр 273 мм) без муфт. Забуривать уступ для установки клина необходимо долотом диаметром 298 мм, а затем для спуска перфорированных труб диаметром 203 мм (наружный диаметр 219 мм) бурить долотом диаметром 248 мм. Если длина перфорированных труб должна быть более длины одного

стандартного звена (6, 8, 11 м) и потребуются муфтовые соединения, то в проекте необходимо предусмотреть обтачивание муфт.

Для лучшей изоляции от непрочной водоупорной кровли ориентировочно величину углубления башмака эксплуатационной колонны или клина в водоносный горизонт целесообразно принимать в среднем равной 2—3 м.

5. Для отдаления фильтрующей поверхности водоприемных устройств скважины от непрочных водоупорных пород в кровле и подошве водоносного горизонта в проектах следует предусматривать установку глухих труб над фильтром и под фильтром (удлинение отстойника). Необходимость этого может быть объяснена следующим образом. Известно, что непосредственно у водоприемной поверхности фильтра токи воды достигают наибольшей скорости. Движущаяся вода омывает недостаточно устойчивые водоупорные породы, разрушает их и вызывает появление мути в скважине. В результате отдаления водоприемной части фильтра от непрочных водоупорных пород, вследствие удлинения верхней части отстойника и надфильтровой трубы, токи воды, характеризующиеся наибольшими скоростями, также отдаляются от этих пород, а непосредственно возле них создается зона замедленных токов или даже относительного застоя. Благодаря этому неустойчивые породы не размываются.

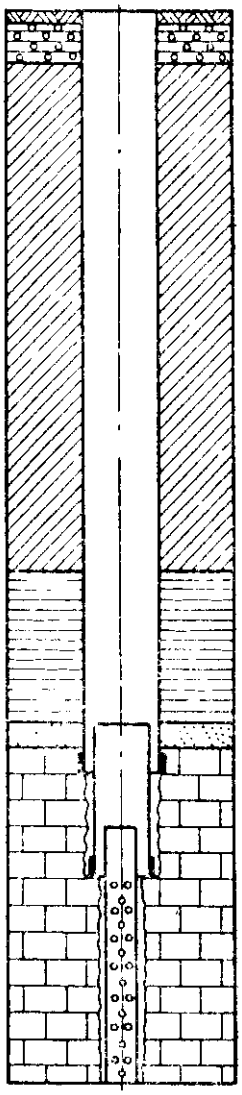


Рис. 65. «Клин» из обсадной трубы меньшего диаметра, устанавливаемой для предотвращения проникновения мути и песка

В зависимости от конкретных геолого-гидрогеологических условий длина глухих труб у фильтра может приниматься различной. При значительной мощности водоносного слоя, большой расчетной производительности скважины и непрочности водоупорной кровли и подошвы длина этих труб должна быть большей, а при незначительной мощности водоносного горизонта, прочной кровле и подошве и незначительном расчетном водоотборе длину глухих надфильтровых и подфильтровых труб можно уменьшать.

Рекомендуется проектировать удлинение отстойника над водоупорной подошвой от 1 до 3 м и длину выхода надфильтровой глухой трубы ниже башмака эксплуатационной колонны в зависимости от его заглубления ниже водоупорной кровли также в пределах от 1 до 3 м. Необходимость проектирования предохранительных мероприятий для верхней части водоприемной части скважины объясняется тем, что кровля водоносного горизонта всегда более подвержена разрушительному воздействию токов воды, чем подошва.

6. В проектах в толщах мелкозернистых водоносных песков нередко меняют диаметры обсадных труб с больших на меньшие.

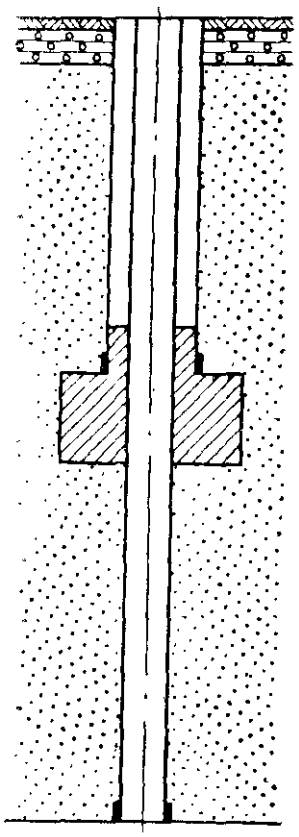


Рис. 66. Схема неправильной глиняной пробки, изображаемой в проектах

При таких переходах колонны часто заклиниваются или спариваются в результате проникновения песка в кольцевой зазор между колоннами. Во избежание этих явлений при ударно-канатном бурении применяют довольно широко распространенный прием — так называемый тампонаж глиняными шариками. Этот прием в какой-то мере предотвращает спаривание, но все же в общем малоэффективен. Совершенно неэффективным вследствие технической неосуществимости является в этих условиях метод создания «глиняной пробки» в том виде, в каком он изображается в проектах (рис. 66).

Нереальность этого мероприятия объясняется тем, что даже при условии работы расширителем (в производстве этого инструмента нет) в водонасыщенных песках не удается создать полость для «запрессовывания» в нее, как это обычно указывается в проектах, глиняной пробки. Вполне очевидно, что при подобных попытках водоносные породы будут оплывать, а глиняная пробка под воздействием воды и работы любым уплотняющим инструментом превратится в разжиженную массу. При последующем спуске колонны обсадных труб меньшего диаметра и работе желонкой эта разжиженная глинистая масса будет постепенно удалена из скважины.

При проектировании бурения скважин ударно-канатным способом следует избегать смены диаметра обсадных колонн в водонасыщенных песках. Целесообразнее проектировать предельно возможную величину выхода колонны для достижения кровли водоупора, чем заранее намечать смену диаметра в водоносных песках. Если смена диаметра обсадных труб в водоносных песках неизбежна, на участке перехода следует предусмотреть забрасывание в скважину глиняных шариков.

Для проектирования бурения скважин роторным способом проблема смены диаметра труб в указанных условиях значительно облегчается. При роторном бурении вследствие значительно большего выхода колонн любая из них всегда может быть остановлена в водоупорных породах и зацементирована и, кроме того, если необходимо сменить диаметр в водоносных песках, то в проекте можно предусмотреть манжетное цементирование.

### По условиям опробования и эксплуатации

Одна из наиболее распространенных ошибок, встречающихся в проектах опробования и эксплуатации скважин, заключается в рекомендации применения несоответствующих водоподъемников. Встречаются также заключения, обосновывающие возможную про-

изводительность скважины, но не учитывающие при этом особенностей ее конструкции и технической характеристики водоподъемного оборудования.

Например, неправильно предусматривать в проекте опробование скважины воздушным водоподъемником, когда столб воды в ней незначителен и динамический уровень будет находиться глубоко от поверхности. Если скважина имеет глубину 100 м, статический уровень находится на глубине 65 м, удельный дебит предположительно составляет около 3 м³/ч, а расчетная производительность скважины 40 м³/ч, то динамический уровень будет находиться на глубине около 80 м. Коэффициент погружения воздушного водоподъемника в таких условиях (при спуске воздухопроводной трубы на максимально возможную глубину — 95 м) составит всего лишь 1,18 и практически установка не будет работать. Предельно допустим коэффициент погружения 1,4, который обеспечивает работу при весьма невыгодных параметрах, поэтому такой подъемник не пригоден для опробования скважины в указанных условиях.

В проектах скважин и в заключениях — паспортах по пробуренным скважинам встречаются и другие ошибки. Например, была пробурена и опробована водообильная скважина — удельный дебит оказался равным 16 м³/ч, статический уровень на глубине около 10 м. При откачке с двумя понижениями получены дебиты соответственно 100 и 130 м³/ч, а требуемая производительность скважины составляла 150 м³/ч. На основании расчетов по формуле зависимости дебита от понижения в пределах допустимой экстраполяции было заключено, что можно эксплуатировать скважину с производительностью 250 м³/ч при динамическом уровне около 30 м. В данном случае все было правильно, за исключением того, что эксплуатационный диаметр скважины равен всего лишь 255 мм, а этого недостаточно для габаритов любого водоподъемника, имеющего производительность, равную производительности скважины, рассчитанной по формуле.

Вполне очевидно, что в описанном случае эксплуатационный диаметр скважины должен быть не менее 355 мм, исходя из расчета оборудования ее насосом АТН-14 или ЭЦНВ-12-255-30.

Во избежание подобных ошибок при проектировании конструкций скважин необходимо задаваться эксплуатационным диаметром применительно к требуемой производительности и соответственно к габаритам стационарного глубинного водоподъемника нужной производительности.

Исключение из этого правила может допускаться только в тех редких случаях, когда предполагается вскрытие хорошо изученного, водообильного горизонта с очень большой высотой напора. При этом требуемая производительность может быть получена из скважины горизонтальным центробежным насосом, устанавливаемым на поверхности земли. При этом нужно быть полностью уверенными в получении требуемого дебита в пределах практической глубины (5—6 м) всасывания насоса с учетом некоторого запаса.

Нередко в проектах опробования скважин требуют четыре — пять понижений при откачках. В основе этого лежит в общем правильное положение, заключающееся в том, что чем больше понижений, тем точнее и обоснованнее может быть рассчитана кривая зависимости дебита от понижения и дан более правильный прогноз возможной производительности скважины.

Однако на проведение откачки с большим количеством понижений требуется затратить значительное количество времени, сил и средств, а главное — большое количество понижений не всегда обусловлено действительной необходимостью. Поэтому при проектировании надо исходить из того, что количество понижений в самых сложных условиях не должно быть более трех.

Встречаются в проектах также требования излишней продолжительности откачек (10—15 смен) после осветления воды и достижения стабильности дебита и понижения. Значительная продолжительность откачки при указанных условиях для скважин, вскрывающих напорные и хорошо изученные горизонты, может быть обусловлена только необходимостью очищения воды от бактериальных загрязнений, случайно внесенных извне. Значительную продолжительность откачки можно проектировать также на ее предварительной стадии (так называемая прокачка), проводимой для восстановления водоотдачи горизонта после бурения скважины роторным способом, чтобы очистить ствол от глинистых частиц.

Еще одна ошибка, встречающаяся в проектах скважин, состоит в рекомендации проведения откачек для их опробования стационарными водоподъемниками — насосами АТН, АП и др. Однако по техническим условиям заводов-изготовителей эти насосы непригодны для откачки загрязненной воды; при использовании их для подобных целей они быстро выходят из строя. Кроме того, при использовании этих насосов при откачке можно достичь двух понижений только регулированием задвижки на выбросе. Это также вызывает перегрузку насоса и способствует преждевременному выходу его из строя. Насосы АТН сложно монтировать.

Желательно опробовать скважины воздушными водоподъемниками, если коэффициент погружения более 1,5. Если уровень воды в скважине низкий, столб воды незначительный, а требуемая производительность не превышает 20 м$^3$/ч, следует рекомендовать опробовать скважины штанговыми поршневыми насосами и гидроэлеваторами.

*ГЛАВА X*

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЧЕК ИЗ СКВАЖИН

## § 1. НАЗНАЧЕНИЕ ОТКАЧЕК

Откачки проводятся для очистки воды от посторонних примесей, песка и мути, а также для опробования скважины с целью установления ее производительности и подготовки к постоянной эксплуатации. Применяют предварительную, пробно-эксплуатационную и опытную откачки.

Предварительную откачку (прокачку) при необходимости можно запроектировать также и как отдельный вид работ со специальной целью (например, для ориентировочного опробования попутно встреченного водоносного горизонта). Такую откачку можно использовать для очищения скважины перед пробно-эксплуатационной или опытной откачкой.

Предварительную откачку проводят желонкой или эрлифтом. Дебит и понижение уровня при этом фиксируют обычно только ориентировочно, так как стабильный режим притока достигается редко. Но если при предварительной откачке уровень воды снижается до забоя скважины, целесообразно понаблюдать за его полным или частичным восстановлением и отметить время, а также характер интенсивности восстановления.

Пробно-эксплуатационная и опытная откачки представляют собой отдельные самостоятельные работы.

Пробно-эксплуатационная откачка проводится для установления опытным путем возможности получения из скважины запроектированного количества воды, а также для изучения стабильности расхода и качества воды во времени. Пробно-эксплуатационные откачки можно проектировать с одним понижением уровня при условии, если производительность скважины при этом понижении будет превышать эксплуатационную производительность.

Опытная откачка нужна для получения характеристики водообильности скважины. Результаты откачки служат для расчета производительности скважины при помощи соответствующих формул и построения графиков зависимости дебита от понижения. Опытные откачки следует проектировать, когда намеченная эксплуатационная производительность скважины превышает производительность

насосного оборудования, предназначенного для опробования; по условиям проекта необходимо получить данные для прогноза возможной максимальной производительности скважины; необходимо получить представление о закономерностях изменения удельного дебита в зависимости от величины понижения.

## § 2. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОТКАЧЕК

При проектировании продолжительности откачки необходимо принимать во внимание следующие основные положения.

1. Откачку следует продолжать до полного осветления воды при установившемся режиме притока, т. е. при стабильном понижении и соответствующем этому понижению неизменяющемся дебите.

2. Время, необходимое для установления стабильного режима притока в скважину, зависит прежде всего от гидравлического состояния водоносного горизонта. Это время для безнапорных горизонтов будет значительно более длительным, чем для напорных. В безнапорных водоносных горизонтах процесс формирования депрессионной воронки продолжается в течение значительного промежутка времени, он короче для пород, хорошо проницаемых, и продолжительнее для пород, обладающих небольшой фильтрационной способностью.

Для напорных водоносных горизонтов стабильный режим притока наступает быстрее — в соответствии с законом гидростатического равновесия. Время установления стабильного режима притока для напорного водоносного горизонта до некоторой степени зависит от литологического состава и фильтрационной способности водоносных пород, но гораздо меньше, чем для безнапорного горизонта, и нередко составляет всего несколько минут.

Это различие гидравлического состояния безнапорных и напорных водоносных горизонтов необходимо учитывать при составлении проектов организации работ и программ на проведение пробно-эксплуатационных и опытных откачек, и в частности, при определении их продолжительности.

Откачки из скважин, вскрывающих напорные водоносные горизонты, следует подразделять на две стадии.

Первая стадия представляет собой предварительную откачку (прокачку) до полного осветления воды в результате очистки ее от песка и мути; продолжительность ее зависит от времени, требующегося для этой цели [1].

Вторая стадия заключается в откачке для определения зависимости дебита от понижения; продолжительность ее не более 4 ч на каждое понижение для опытной откачки и не более 8 ч на одно

---

[1] *Предварительную откачку из скважины, вскрывающей горизонт, представленный песками, надо начинать с минимальной производительности и постепенно не увеличивать. При вскрытии водоносного горизонта трещиноватых пород откачку можно начинать и с максимальной производительности.*

понижение для пробно-эксплуатационной откачки при условии, если уровень воды и производительность скважины постоянны.

При проектировании опытной откачки продолжительность ее при двух понижениях в условиях хорошо изученных напорных водоносных горизонтов, представленных породами с большой фильтрационной способностью, можно ограничить одной сменой. Для горизонтов с незначительной фильтрационной способностью продолжительность опытной откачки следует увеличить до 3—5 смен при всех прочих равных условиях. Соответственно продолжительность пробно-эксплуатационной откачки в аналогичных условиях составит 2—3 смены при одном понижении уровня.

При проектировании откачек из скважин, пройденных во вновь осваиваемых районах с малоизученными гидрогеологическими условиями, следует учитывать, что если напорный водоносный горизонт вскрыт впервые, то необходимо более длительное опробование при помощи откачки. Соблюдать это условие особенно важно, когда напор незначителен.

Продолжительность откачки в малоизученных районах для каждой скважины следует определять соответственно общим представлениям о геологическом строении и гидрогеологических условиях исследуемой местности.

При определении продолжительности откачки из скважины, вскрывшей безнапорный водоносный горизонт, следует учитывать

*Таблица 38*

**Продолжительность откачек из одиночных скважин**

| Водоносные породы | Коэффициент фильтрации, м/сут | Гидравлический режим | Продолжительность при максимальном понижении, сут |
|---|---|---|---|
| Грунтовые и неглубокие напорные воды | | | |
| Трещиноватые и закарстованные породы: гравийно-галечниковые отложения без примеси мелких частиц; крупные и среднезернистые однородные пески . . . | > 30 | Безнапорный<br>Напорный | 3—4<br>2—3 |
| Трещиноватые и закарстованные породы: гравийно-галечниковые отложения с песчаным и супесчаным заполнителем . . | 30—10 | Безнапорный<br>Напорный | 4—5<br>3—4 |
| Неоднородные крупно-, средне- и мелкозернистые пески . . . . . | 10—5 | Безнапорный<br>Напорный | 5—7<br>4—5 |
| Глубокие напорные (артезианские) воды | | | |
| Трещиноватые породы, уплотненные пески | 5—0,5 | Упругий, высоконапорный | 3—5 |
| То же . . . . . | < 0,5 | То же | 5—7 |

возможный дебит, фильтрационную способность пород, характер их литологического состава, а также вид водоприемной части и фильтра.

Для общей ориентировки при этом можно руководствоваться данными «Инструкции по применению классификации запасов подземных вод» [61], приведенными в табл. 38.

В эти данные необходимо вносить коррективы. Например, продолжительность откачки из бесфильтровой скважины, водоприемная часть которой сложена устойчивыми скальными породами, всегда будет значительно меньше, чем из скважины фильтровой, вскрывающей мелкозернистые пески. При большей водообильности скважины продолжительность откачки будет меньше, чем при малой водообильности. В породах с лучшей водопроницаемостью депрессионная воронка формируется быстрее, поэтому стабильный режим притока при таких условиях устанавливается быстрее, чем в породах с меньшей водопроницаемостью.

Одно из основных требований откачки — ее непрерывность. Это требование должно быть отмечено в проекте организации работ.

## § 3. ВЕЛИЧИНА ПОНИЖЕНИЯ

При проектировании откачек необходимо предварительно задаваться не только дебитом, но и величиной понижения. При этом следует учитывать, что в разных условиях одному и тому же дебиту будут соответствовать различные понижения.

Величина понижения зависит от водообильности горизонта, вскрытого скважиной, и мощности насосного оборудования. В связи с этим она может изменяться в широких пределах, поскольку водообильность горизонта находится в непосредственной связи с его мощностью, сложением и литологическим составом образующих его пород.

Для правильного предварительного определения величины понижения при ожидаемом дебите очень большое значение имеет степень изученности (разведанности) водоносного горизонта. Однако независимо от его состава, сложения, мощности и особенностей фильтра величина понижения должна удовлетворять следующим условиям.

1. Минимальная величина каждой (одной) ступени понижения не должна быть менее 1 м для уменьшения возможной относительной ошибки при замере уровня воды [1].

2. Если эксплуатация скважины намечается при очень большом понижении уровня (0,5—0,6 высоты непониженного столба воды

---

[1] *Исключения могут допускаться только тогда, когда скважиной вскрыт водообильный горизонт и понижение менее 1 м обеспечивает получение дебита, предельного для имеющегося водоподъемника и в то же время превышающего расчетную потребность воды данного объекта. Необходимо принимать во внимание расчетную потребность воды для объекта и вносить соответствующие коррективы в приводимые рекомендации.*

в скважине), величина максимального понижения должна составлять соответственно 0,2 и 0,3 высоты непониженного столба воды (для обеспечения допустимых пределов экстраполяции при расчете возможного дебита по соответствующим формулам).

3. Если эксплуатация скважины намечается при сравнительно небольшом понижении уровня, величина максимального понижения при откачке не должна быть менее 0,3 величины предполагаемого понижения при эксплуатационной откачке. Все приведенные указания не исключают целесообразности проведения откачки с понижением, равным или превышающим понижение, обеспечивающее запроектированный эксплуатационный расход.

При проектировании величины отдельных понижений для проведения опытной откачки можно руководствоваться следующими указаниями:

а) для водоносных горизонтов, представленных скальными сильно трещиноватыми породами, а также рыхлыми галечниково-гравийными породами при удельном дебите скважины 18—36 м³/ч и более, желательно, чтобы разность между понижениями составляла 1,5—2,0 м, но не менее 1 м;

б) для водоносных горизонтов, представленных среднетрещиноватыми породами (мел, мергели и т. п.), а также рыхлыми гравийно-песчаными породами при удельном дебите скважины 5—18 м³/ч разность между понижениями можно принять равной 2—3 м, но не менее 2 м;

в) для водоносных горизонтов, представленных скальными слабо трещиноватыми породами, а также средне- и мелкозернистыми песчаными породами при удельном дебите скважины до 5 м³/ч, разность между понижениями принимается равной 3—5 м, но не менее 3 м.

## § 4. ЧИСЛО ПОНИЖЕНИЙ И ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

Проектирование числа понижений обусловлено целью откачки, величиной проектного дебита и максимальной производительностью наличного насосного оборудования, а также степенью изученности района в гидрогеологическом отношении (в частности, степенью разведанности водоносного горизонта).

В районах, достаточно изученных в гидрогеологическом отношении и, кроме того, характеризующихся водообильными горизонтами, допускается проведение пробно-эксплуатационных откачек с одним понижением, достигающим 0,5—0,6 величины запроектированного эксплуатационного понижения.

Желательно, чтобы запроектированное понижение пробно-эксплуатационной откачки было равно проектному эксплуатационному понижению или превышало последнее. При соблюдении этого условия во время откачки вода полностью очищается от частиц породы и, следовательно, исключается необходимость в проведении повторной откачки перед монтажом эксплуатационного насоса. Такие

откачки можно проводить только из скважин, вскрывающих водоносные горизонты, сложенные устойчивыми трещиноватыми породами или галечниково-гравийными отложениями, а также из скважин бесфильтровых (в скальных породах) или с фильтрами каркасно-стержневыми, гравийными или из перфорированных труб.

Во всех прочих случаях из скважины должны проводиться опытные откачки с двумя ступенями понижения, что обеспечивает лучшие условия для образования естественного фильтра, а также дает возможность обосновать расчет дебита при динамическом уровне, более низком, чем максимальный динамический, достигнутый при опытной откачке. Последовательность ступеней понижения необходимо назначать сообразно литологическому составу водоносной породы и установленному фильтру.

Н. Н. Биндеман, Л. С. Язвин [22] опытными исследованиями подтвердили, что параболическая зависимость дебита от понижения $S = \alpha Q + \beta Q^2$ является наиболее обоснованной. Кроме того, серией натурных исследований и последующими поверочными расчетами они установили, что для правильного прогнозного расчета запроектированного дебита в допустимых пределах экстраполяции вполне достаточно проводить откачку на две ступени понижения. Исключением являются безнапорные водоносные горизонты в трещиноватых породах, в которых водоотдача может резко изменяться с глубиной вследствие неравномерной трещиноватости — в этих условиях можно проводить откачку с тремя ступенями понижения.

Этим самым доказана ошибочность требований некоторых специалистов, полагающих, что полноценной может считаться только откачка, проведенная с тремя и более ступенями понижения уровня.

Во взаимодействующих скважинах величины срезок уровней практически прямо пропорциональны дебитам, вызывающим эти срезки. Если известна величина срезки при определенном дебите, всегда можно найти значение срезки при экстраполируемом дебите на момент, соответствующий времени опытной откачки. Поэтому для расчетов срезок уровня достаточно опытных откачек с одним понижением.

Откачку из скважины, оборудованной сетчатым фильтром в песчаном водоносном горизонте, следует проектировать, начиная с минимального понижения, постепенно его увеличивая. Если откачка ведется с постепенным увеличением понижения (с переходом от меньшего к большему), частицы в околофильтровой зоне медленно сортируются, при этом мелкие частицы вымываются и уносятся водой через сетку фильтра, а более крупные образуют скелет около водоприемной части скважины.

В результате этих процессов полезная площадь фильтрации близ водоприемной части скважины увеличивается. Если же начать откачку сразу с большим понижением, то вследствие значительной скорости притока воды к фильтру более крупные зерна песка, не имеющие возможности пройти через сетку, сразу же сосредоточиваются вокруг фильтра. Песок вокруг сетки уплотняется, пространство

между крупными зернами заполняется мелкими частицами, не прошедшими внутрь фильтра, а притоку воды создается значительное сопротивление. Вследствие этого резко снижается фильтрационная способность породы в зоне, непосредственно прилегающей к водоприемной части, и уменьшается водопропускная способность фильтра. Такие явления обусловливают уменьшение дебита скважины. Откачку из бесфильтровой скважины в скальных породах или из скважины, оборудованной перфорированными трубами, можно начинать с понижения, максимально возможного для имеющегося водоподъемника. Затем при необходимости можно переходить от большого понижения к меньшему.

## § 5. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОТКАЧКИ

Производительность пробно-эксплуатационной и опытной откачек проектируется соответственно расчетному водопотреблению объекта, для которого намечается бурение скважины. При всех условиях желательно, чтобы максимальная производительность откачки была равна проектируемой эксплуатационной производительности или даже превышала ее. Это положение обусловливается:

1) целесообразностью проверки дебита опытным, а не расчетным путем, что особенно важно для скважин с большими расходами и для скважин, вскрывающих и эксплуатирующих несколько водоносных горизонтов;

2) возможностью подготовки скважины к монтажу эксплуатационного насоса без проведения специальной дополнительной откачки.

Если же максимальный дебит при откачке не может быть доведен до эксплуатационной производительности, то необходимо, чтобы он при всех условиях составлял не менее 0,4 запроектированного расхода. Соблюдение такого соотношения дает возможность правильно и обоснованно рассчитывать запроектированный дебит по соответствующим формулам.

При проектировании величины максимальной производительности опытной или пробно-эксплуатационной откачек каждый раз необходимо принимать во внимание все гидрогеологические и технические параметры скважины, а также учитывать все параметры водоподъемника.

## § 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЧЕК РАЗЛИЧНЫМИ ВОДОПОДЪЕМНИКАМИ

Без учета технических и производственных особенностей невозможно правильно спроектировать опробование скважины откачкой. Нередко в проекте предусматриваются требования к откачке, технически не выполнимые при данной конструкции скважины и ее гидрогеологических параметрах.

Для облегчения проведения откачки следует рассмотреть некоторые технические и производственные условия выполнения этой работы различными водоподъемниками.

Предварительные откачки скважин наиболее целесообразно осуществлять воздушными водоподъемниками при большом дебите и тартанием желонками при незначительном дебите. Эти откачки можно также производить штанговым насосом тогда, когда нужно предварительно опробовать водоносный горизонт, если предполагается, что дебит будет незначителен, а вода в скважине чистая.

Пробно-эксплуатационные и опытные откачки можно проводить горизонтальными центробежными насосами, штанговыми поршневыми насосами и воздушными водоподъемниками. Иногда для этих откачек используют также глубинные и погружные насосы, предназначенные в основном для постоянной эксплуатации. Однако использование их для временных откачек нецелесообразно ввиду большей сложности монтажных работ, кроме того, большинство насосов этого вида довольно быстро изнашивается при откачках из скважин неосветленной воды.

### Откачка горизонтальным центробежным насосом

Откачку горизонтальным центробежным насосом можно предусматривать тогда, когда вследствие высокого положения статического уровня и большого удельного дебита динамический уровень воды при максимальной производительности откачки будет находиться в пределах высоты всасывания насоса, т. е. практически на глубине 5—6 м от поверхности земли. При этих условиях откачку горизонтальным центробежным насосом можно проводить при любой проектной производительности скважины.

Регулировать дебит и величину понижения уровня воды в скважине можно при помощи задвижки типа Лудло.

### Откачка воздушным водоподъемником

Основное преимущество этого подъемника — простота его устройства, кроме того, при откачке воды с большим содержанием шлама и песка он не засоряется. Вследствие этого нередко после предварительной откачки, проведенной воздушным водоподъемником, можно проектировать непосредственно пробно-эксплуатационную.

Отношение глубины $H$ погружения смесителя от уровня излива к высоте подъема воды $h$, считая от динамического уровня до уровня излива, называется коэффициентом погружения $K$

$$K = H/h.$$

Воздушный водоподъемник может работать при различных погружениях смесителя (форсунки). С увеличением $h$ и сокращением $H$ уменьшается коэффициент полезного действия подъемника. Рекомендуется при откачках принимать $K$ не менее 2,5, если это допускают параметры скважины.

Все глубины при расчетах эрлифта следует принимать от уровня излива воды. На рис. 67 показана расчетная схема эрлифта.

Произведение объема газа на давление в нем есть величина постоянная

$$W_1 p_1 = W_2 p_2 = \text{const}. \qquad (X.1)$$

Работа, необходимая для сжатия воздуха от давления, равна

$$A = p_1 W_1 \ln \frac{p_2}{p_1}. \qquad (X.2)$$

Сжатый воздух выполняет в эрлифте полезную работу — поднимает воду в количестве $Q$ м³/с на высоту $h$ м. Затраченная работа равна

$$A_1 = \frac{Qh}{\eta_э} \qquad (X.3)$$

Эта энергия равна энергии сжатого воздуха

$$A = A_1 = \frac{Qh}{\eta_э} = p_1 W_1 \ln \frac{p_2}{p_1}, \qquad (X.4)$$

где $p_1 = 10$ тс/м² — начальное (атмосферное) абсолютное давление; $p_2$ [$h(K-1)+10$] тс/м² — конечное абсолютное давление; $W_1$ — количество засасываемого компрессором свободного атмосферного воздуха при давлении $p_1$ м³/с; $Q$ — количество воды, поднятой на высоту $h$, в м³/с; $\eta$ — гидравлический (без компрессора) к. п. д. эрлифта; $h$ — глубина динамического уровня воды в скважине от уровня излива в м.

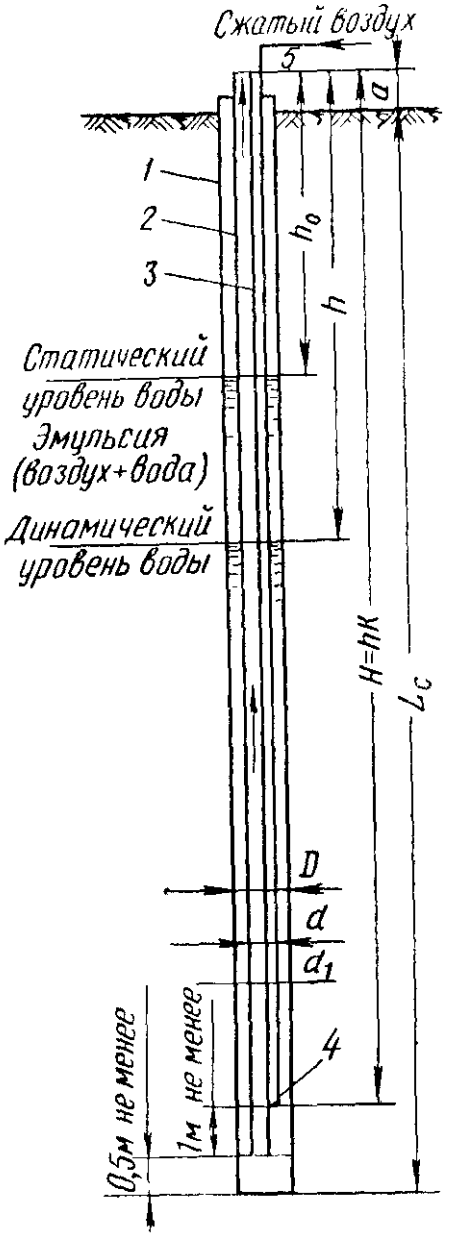



Рис. 67. Схема устройства фильтра для расчета (трубы расположены по системе «рядом»):

*1* — обсадная труба; *2* — водоподъемная труба; *3* — воздухопроводная труба; *4*—смеситель; *5* — уровень излива.

После соответствующих преобразований и введения коэффициента $c$, полученного опытным путем, потребный удельный расход воздуха определится из формулы

$$v_0 = \frac{h}{c \lg \frac{h(K-1)+10}{10}}. \qquad (X.5)$$

для которой коэффициент $c$ находят из табл. 39, в зависимости от величины коэффициента погружения $K$.

*Таблица 39*

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент $K$ | 4 | 3,35 | 2,85 | 2,5 | 2,2 | 2 | 1,8 | 1,7 | 1,55 |
| Коэффициент $c$ . . | 14,3 | 13,9 | 13,6 | 13,1 | 12,4 | 11,5 | 10 | 9 | 8 |

Полный (суммарный) расход воздуха выражается

$$W = \frac{Qv_0}{60} \text{ м}^3/\text{мин}, \qquad (X.6)$$

где $Q$ — дебит скважины в м³/ч; $v_0$ — удельный расход воздуха в м³.

Для определения величины удельного расхода (на 1 м³ поднимаемой воды) можно пользоваться также номограммой, приведенной на рис. 68.

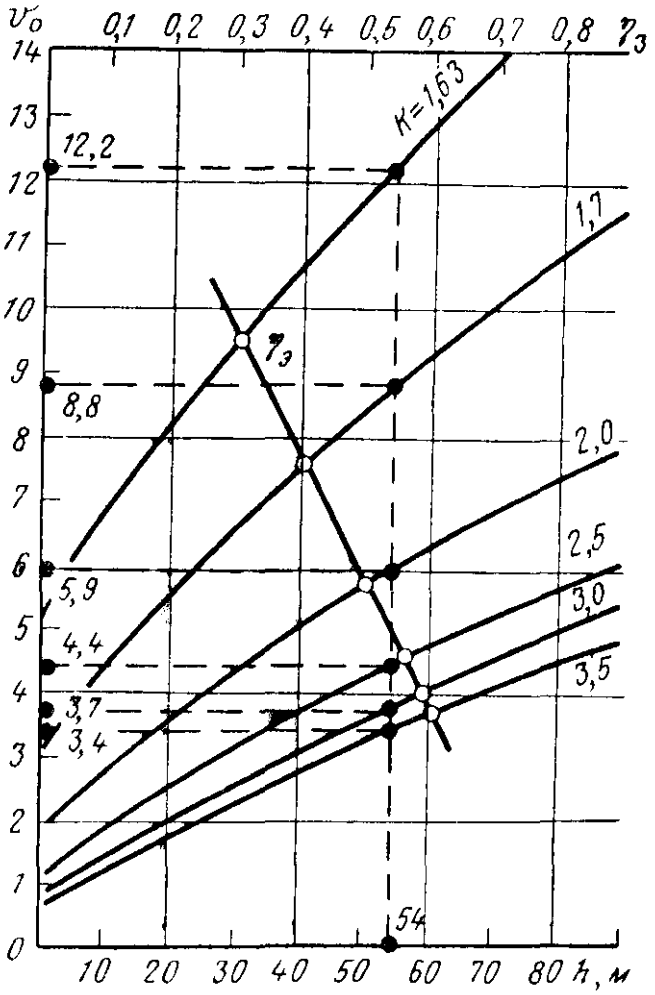



Рис. 68. График для определения удельного расхода воздуха по коэффициенту погружения (по Я. С. Суреньянцу):

$v_0$ — удельный расход воздуха (м³) на 1 м³ поднятой воды; $h$ — расстояние от динамического уровня до уровня излива в м; $K$ — коэффициент погружения; $\eta_э$ — гидравлический к. п. д.

Прочие параметры эрлифтов приведены в табл. 40.

При расчетах эрлифта, во избежание так называемого проскальзывания воздуха, необходимо также учитывать скорости воздушно-водяной (эмульсии) смеси и соответственно подбирать сечение труб (особенно водоподъемной, у излива) и иногда даже применять телескопическую конструкцию водоподъемной трубы.

Скорость эмульсии в водоподъемной колонне по мере движения вверх увеличивается от 2,5—3,0 м/с от места смешения (смесителя) до 6—8 м/с у излива и не следует допускать превышения верхнего предела этой скорости.

Расход эмульсии непосредственно выше смесителя определяют по формуле

$$q_1 = Q_1 + \frac{W}{(p-1)\,60} \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (X.7)$$

где $Q_1$ — расход воды расчетный в м³/с; $W$ — расход воздуха полный в м³/мин; $p$ — рабочее давление воздуха в кгс/см³.

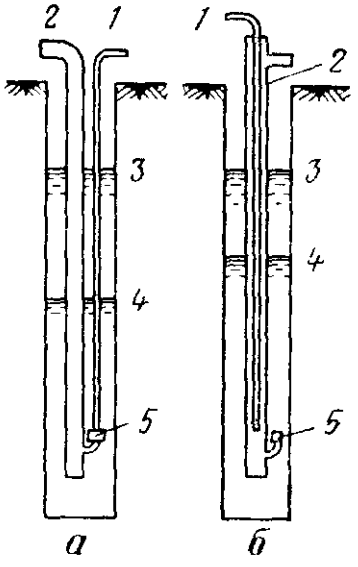



Рис. 69. Схема монтажа воздушного водоподъемника в скважине для откачки с двумя понижениями:

*а* — по системе «рядом», *б* — по системе «внутри» *1* — воздухопроводная колонна; *2* — водоподъемная колонна; *3* — статический уровень воды; *4* — динамический уровень воды при откачке; *5* — муфта с левой резьбой.

Расход у излива определяют по формуле

$$q_2 = Q_1 + \frac{W}{60} \text{ м}^3/\text{с}, \qquad \text{(X.8)}$$

где обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

Для определения расчетной скорости необходимо разделить расход на площадь сечения водоподъемной колонны.

Для создания нескольких понижений уровня при опытной откачке из скважины подъемником, приводимым в действие от одного компрессора, можно применять несколько способов.

Простейший с двумя понижениями следующий: воздухопроводную трубу погружают сначала рядом с водоподъемной, а затем, после получения данных о дебите и понижении, внутри нее. В обоих случаях трубу следует погружать примерно на одну и ту же глубину. Вследствие изменения полезного сечения водоподъемной трубы при различных (внутри или рядом) схемах монтажа этого водоподъемника производительность откачки будет изменяться в пределах до 30%; примерно в таком же соотношении изменяется и понижение уровня при откачке.

Для проведения откачки таким способом рекомендуется устанавливать муфту с левой резьбой на воздухопроводной трубе близ ввода последней в водоподъемную колонну (рис. 69). После откачки при расположении труб рядом нужно отвинтить воздухопроводную колонну, извлечь ее из скважины и снова спустить внутрь водоподъемной колонны для проведения откачки при другой ступени понижения.

Если имеется дополнительная колонна воздухопроводных труб, то ее можно спустить по системе «внутри», не отвинчивая колонну, расположенную рядом, причем откачку можно проводить, начиная с меньшего понижения, достигаемого при откачке по системе «внутри» (табл. 41).

Когда эксплуатационный диаметр скважины не позволяет опустить воздухопроводные трубы по системе «рядом», или если крайне необходимо получить данные более чем при двух понижениях, следует намечать другой способ — погружение водоподъемных труб на различную глубину. Для применения этого способа глубина скважины и динамический уровень при откачке должны быть достаточными для соответствующего погружения труб (рис. 70).

Сущность этого способа основывается на различии величины удельного расхода воздуха, требуемого для подъема 1 м$^3$ воды на

| Показатели | Коэффициент 2,5 | | | | | | | Коэффициент Динамический | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 20 | 30 |
| Глубина погружения смесителя под динамический уровень, м | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105,0 | 20 | 30 |
| Длина воздухопроводной трубы от устья скважины до смесителя, м | 25 | 50 | 76 | 100 | 125 | 150 | 175 | 40 | 60 |
| Длина водоподъемной трубы, м | 28 | 53 | 79 | 103 | 128 | 153 | 178 | 43 | 63 |
| Наименьшая глубина скважины, м | 33 | 58 | 84 | 110 | 135 | 165 | 185 | 48 | 68 |
| Рабочее давление воздуха в воздухопроводной трубе у скважины, кгс/см² | 1,5 | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 10,5 | 2,0 | 3,0 |
| Удельный расход воздуха на 1 м³ воды | 3,0 | 3,81 | 4,66 | 5,41 | 6,15 | 6,9 | 7,5 | 5,43 | 6,46 |
| Расход воздуха (м³/мин) и расход энергии (кВт) для подачи воды, м³/ч: | | | | | | | | | |
| 2 | 0,10<br>0,37 | 0,12<br>0,51 | 0,15<br>0,88 | 0,17<br>1,18 | 0,20<br>1,54 | 0,23<br>2,0 | 0,25<br>2,2 | 0,18<br>0,6 | 0,21<br>1,0 |
| 5 | 0,25<br>0,92 | 0,32<br>1,3 | 0,38<br>2,10 | 0,42<br>2,83 | 0,50<br>3,86 | 0,58<br>5,0 | 0,63<br>5,50 | 0,43<br>1,5 | 0,53<br>2,5 |
| 10 | 0,50<br>1,84 | 0,63<br>2,8 | 0,75<br>4,25 | 0,84<br>5,60 | 1,0<br>7,73 | 1,15<br>10,0 | 1,25<br>11,0 | 0,86<br>3,0 | 1,1<br>5,0 |
| 15 | 0,75<br>2,7 | 0,95<br>4,10 | 1,12<br>6,50 | 1,26<br>8,46 | 1,50<br>11,63 | 1,72<br>15,0 | 1,90<br>17,0 | 1,30<br>4,5 | 1,63<br>7,5 |
| 20 | 1,00<br>3,68 | 1,26<br>5,60 | 1,50<br>8,50 | 1,70<br>11,20 | 2,0<br>15,45 | 2,30<br>20,0 | 2,50<br>22,0 | 1,72<br>6,0 | 2,12<br>10,0 |
| 30 | 1,50<br>5,40 | 1,90<br>8,20 | 2,30<br>13,0 | 2,52<br>17,0 | 3,0<br>23,2 | 3,44<br>30,0 | 3,75<br>34,0 | 2,60<br>9,0 | 3,20<br>15,0 |
| 50 | 2,50<br>9,00 | 3,15<br>14,0 | 3,75<br>21,50 | 4,20<br>28,5 | 5,0<br>38,65 | 5,80<br>50,0 | 6,20<br>56,0 | 4,30<br>15,0 | 5,30<br>25,0 |
| 75 | 3,75<br>14,00 | 4,72<br>21,0 | 5,62<br>32,3 | 6,26<br>43,5 | 7,50<br>58,0 | 8,65<br>75,0 | 9,40<br>84,0 | 6,50<br>22,0 | 8,00<br>37,5 |
| 100 | 5,0<br>18,0 | 6,30<br>28,0 | 7,50<br>43,0 | 8,40<br>57,0 | 10,0<br>77,0 | 11,50<br>100,0 | 12,50<br>112,0 | 8,60<br>30 | 10,6<br>50,0 |
| 120 | 6,0<br>21,60 | 7,56<br>33,5 | 9,0<br>50,0 | 10,0<br>68,0 | 12,0<br>88,5 | 13,80<br>116,0 | 15,0<br>134,0 | 10,30<br>36,0 | 12,8<br>60,0 |
| 150 | 7,5<br>28,0 | 9,45<br>42,0 | 11,20<br>65,0 | 12,50<br>86,0 | 15,0<br>116,0 | 17,40<br>150,0 | 19,0<br>168,0 | 12,90<br>44 | 16,0<br>75,0 |
| 200 | 10,0<br>36,0 | 12,60<br>56,0 | 15,0<br>86,0 | 16,8<br>114,0 | 20,0<br>154,0 | 23,0<br>200,0 | 25,0<br>224,0 | 17,20<br>60,0 | 21,3<br>100,0 |

*Примечания*: 1. Действительная мощность двигателей для отдельных марок компрес ных, приведенных в таблице, и находится в зависимости от конструктивных особенностей
2. Удельный и общий расход воздуха при работе эрлифта в каждом конкретном слу установившегося при откачке динамического уровня, который также может отличаться от
3. Дробными числами выражены: расход воздуха (м³/мин) в числителе и расход

Таблица 40

**эрлифта**

| погружения | | | | | | | Рекомендуемые диаметры труб (дюймы) для откачки эрлифтом по схеме | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | | | 1,66 | | | внутри | | рядом | |
| уровень | | | | | | | водоподъемные трубы | воздухопроводные трубы | водоподъемные трубы | воздухопроводные трубы |
| 40 | 50 | 60 | 70 | 45 | 55 | 70 | | | | |
| 40 | 50 | 60 | 70 | 29,7 | 36,3 | 46,2 | — | — | — | — |
| 80 | 100 | 120 | 140 | 74,7 | 91,3 | 116,2 | — | — | — | — |
| 83 | 103 | 123 | 143 | 78,0 | 94,3 | 120,0 | — | — | — | — |
| 88 | 110 | 130 | 153 | 83,0 | 100,0 | 125,0 | — | — | — | — |
| 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 3,0 | 3,6 | 4,6 | — | — | — | — |
| 7,5 | 8,35 | 9,15 | 10,12 | 11,76 | 13,20 | 14,61 | — | — | — | — |
| 0,25<br>1,33 | 0,27<br>1,63 | 0,30<br>2,13 | 0,33<br>2,57 | 0,40<br>1,72 | 0,43<br>2,1 | 0,50<br>3,5 | 1 1/2 | 1/2 | 1 1/4 | 1/2 |
| 0,63<br>3,4 | 0,68<br>4,1 | 0,70<br>5,5 | 0,80<br>6,5 | 0,97<br>4,30 | 1,1<br>5,25 | 1,25<br>8,0 | 1 1/2 | 1/2 | 1 1/4 | 1/2 |
| 1,26<br>6,8 | 1,36<br>8,4 | 1,40<br>11,0 | 1,60<br>13,0 | 1,95<br>8,60 | 2,16<br>10,50 | 25,0<br>17,6 | 2 | 3/4 | 1 1/2 | 3/4 |
| 1,90<br>10,2 | 2,10<br>12,50 | 2,30<br>16,5 | 2,50<br>19,5 | 2,92<br>13,0 | 3,24<br>15,75 | 3,75<br>26,5 | 2 1/4 | 3/4 | 2 | 3/4 |
| 2,52<br>13,6 | 2,70<br>16,8 | 2,80<br>22,0 | 3,35<br>26,0 | 3,90<br>17,20 | 4,32<br>21,0 | 5,0<br>35,0 | 3 | 3/4-1 | 2 1/2 | 3/4 |
| 3,80<br>20,40 | 4,00<br>25,00 | 4,20<br>33,0 | 5,00<br>39,0 | 5,84<br>26,0 | 6,48<br>31,5 | 7,50<br>53,00 | 4 | 1 | 3 | 3/4-1 |
| 6,30<br>34,0 | 6,70<br>42,0 | 7,20<br>55,0 | 8,35<br>65,0 | 9,74<br>43,20 | 10,80<br>52,5 | 12,50<br>88,0 | 5 | 1-1 1/4 | 4 | 1 |
| 9,45<br>51,0 | 10,0<br>63,0 | 10,50<br>82,0 | 12,50<br>97,5 | 14,60<br>65,0 | 16,20<br>78,0 | 18,75<br>133,0 | 6 | 1 1/2 | 5 | 1 1/4 |
| 12,60<br>68,0 | 13,4<br>84,0 | 14,50<br>110,0 | 16,70<br>130,0 | 19,50<br>86,0 | 21,6<br>105,0 | 25,0<br>176,0 | 8 | 2 | 6 | 1 1/2 |
| 15,0<br>81,0 | 20,0<br>126,0 | 17,30<br>132,0 | 20,0<br>156,0 | 23,40<br>104,0 | 25,9<br>125,0 | 30,0<br>212,0 | 10 | 2 1/2 | 8 | 2 |
| 19,0<br>102,0 | 20,0<br>126,0 | 22,0<br>164,0 | 25,0<br>195,0 | 29,2<br>130,0 | 32,4<br>156,0 | 38,0<br>264 | 10 | 2 1/2 | 8 | 2 |
| 25,3<br>136,0 | 27,0<br>168,0 | 29,0<br>220 | 33,40<br>260 | 39,0<br>172 | 43,2<br>210 | 50,0<br>350 | 10 | 2 1/2 | 8 | 2 |

соров, обеспечивающих подачу определенного количества воды может отличаться от данкомпрессора и его к. п. д.
чае зависит от правильного выбора сечения труб и соответствующего погружения их ниже расчетного динамического уровня.
энергии (кВт) в знаменателе.

**Производительность скважин при различном расположении труб водоподъемника**

| По системе «рядом» | | | По системе «внутри» | | |
|---|---|---|---|---|---|
| диаметр колонны, мм | | производительность, м³/ч | диаметр колонны, мм | | производительность, м³/ч |
| водоподъемной | воздухопроводной | | водоподъемной | воздухопроводной | |
| 25,4 | 12,7 | 1,4—1,6 | — | — | — |
| 38,1 | 19,0 | 4—5 | 50,8 | 12,7 | 4,6—8,6 |
| 50,8 | 31,8 | 8—11 | 50,8 | 19,0 | 5—10 |
| 76,2 | 31,8 | 14—23 | 76,2 | 25,4 | 13—21 |
| 76,2 | 38,1 | 20—25 | 88,9 | 31,8 | 15—23 |
| 101,6 | 38,1 | 30—40 | 101,6 | 38,1 | 23—35 |
| 101,6 | 50,8 | 32—50 | 127 | 38,1 | 35—55 |
| 127 | 50,8 | 40—65 | 152,4 | 50,8 | 65—80 |
| 152,4 | 50,8 | 85—100 | 203,2 | 76,2 | 100—150 |

*Примечание.* Пределы производительности указаны для значения коэффициента $K = 2 \div 2{,}5$; при коэффициенте $K > 2{,}5$ и неглубоком (10—15 м) динамическом уровне верхний предел производительности увеличивается дополнительно на 15—20%.

определенную высоту. Чем больше высота подъема воды из скважины на поверхность, тем меньше должен быть удельный вес эмульсии, и следовательно, тем больше должно быть количество воздуха, расходуемого на 1 м³ воды. Поэтому при использовании компрессора с постоянной производительностью воздуха количество подаваемой воды будет изменяться в зависимости от глубины погружения труб водоподъемника (см. рис. 70).

Разница в величине дебитов, получаемых при откачке этим подъемником по второму способу, нередко достигает 90—100%, что является преимуществом этого способа.

Для откачки воздушным водоподъемником по второму способу можно проектировать следующие приемы. Если эксплуатационная (рабочая обсадная)

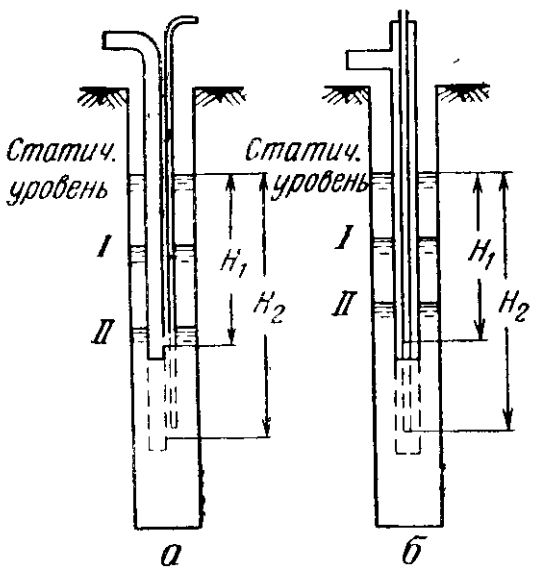



Рис. 70. Схема монтажа воздушного водоподъемника в скважине для откачки с несколькими понижениями путем погружения труб на разную глубину:

*а* — по системе «рядом»; *б* — по системе «внутри». *I* — динамический уровень при погружении трубы на глубину $H_1$; *II* — то же при погружении на глубину $H_2$

колонна имеет достаточный внутренний диаметр, то водоподъемную колонну можно оборудовать двумя вводами воздухопроводных труб, расположенных на различной глубине. При этом откачки можно проводить при двух различных коэффициентах погружения.

После откачки с двумя понижениями последовательным переключением нагнетаемого воздуха с одной воздухопроводной колонны на другую более длинную воздухопроводную колонну, которая монтируется непосредственно у ввода на муфте. Спустив отвинченную воздухопроводную колонну в водоподъемную по системе «внутри» и включив компрессор, можно создать в скважине третье понижение и определить соответствующий ему дебит.

Если же устройство двух боковых воздухопроводов почему-либо затруднено, можно ограничиться одним боковым вводом и регулировать дебит, спуская или поднимая водоподъемные трубы на различную глубину. Если внутренний диаметр эксплуатационной колонны исключает возможность проведения откачки по схеме «рядом», скважину можно откачивать водоподъемником по схеме «внутри», увеличивая или уменьшая по необходимости глубину погружения воздухопроводной и водоподъемной колонн или только одной воздухопроводной.

При откачке воздушным водоподъемником по второму способу давление, создаваемое компрессором, всегда должно обеспечивать работу подъемника при максимальной намечаемой глубине погружения водоподъемных труб. Поэтому при расчете величины понижения это необходимо учитывать.

Измерять уровень воды при любом способе откачки можно при помощи хлопушки, пневматического или электрического уровнемера. В зависимости от производительности откачки дебит скважины можно измерять объемным способом, при помощи водослива, диафрагменным расходомером и т. д. Частоту наблюдений за уровнем и дебитом и фиксирование этих данных следует проектировать с интервалом 30 мин. Надо указать в проекте, что если в процессе откачки будут замечены помутнение воды, появление посторонних примесей, вынос частиц породы, изменения уровня и дебита и т. п., то интервалы наблюдений следует сократить до 10—15 мин.

*ГЛАВА XI*

# СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА ОДИНОЧНОЙ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКВАЖИНЫ

Необходимо различать проект разведочно-эксплуатационной скважины и проект проведения работ по ее сооружению; последний составляет один из разделов или элементов проекта скважины в целом. Проект должен состоять из записки и графических приложений, записка состоит из двух основных частей — общей и специальной.

Степень детальности рассмотрения геолого-геоморфологического строения и гидрогеологических условий в общей части записки может быть разной и зависит в основном от изученности и сложности строения района (участка). Так, для хорошо изученных артезианских бассейнов платформенных областей Европейской части СССР, эксплуатируемых сотни скважин, описание геологического строения и общих гидрогеологических условий должно быть очень кратким. Для районов, мало изученных в гидрогеологическом отношении и характеризующихся сложным строением, необходимо с возможно большей полнотой рассматривать естественные факторы, определяющие возможность и целесообразность заложения разведочно-эксплуатационной скважины.

## § 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

I. Введение. Во введении должны быть помещены следующие сведения.

1. Наименование объекта, для водоснабжения которого намечено бурение данной скважины и приведен расчет водопотребления (суточного или часового с учетом коэффициента неравномерности), основанный на официальных нормах водопотребления (СН и П, II-Г 3-62, «Водоснабжение», «Нормы проектирования»).

2. Точное местоположение скважины, ее координаты или кратчайшее расстояние с указанием направления по странам света от ближайших вполне определенных ориентиров, лучше всего от железнодорожной станции и крупного населенного пункта.

3. Название железной дороги, административного района, области (края) и республики.

4. Данные о высотном положении устья скважин — абсолютная высота его над уровнем моря.

Во введении должен быть обоснован выбор места заложения скважины. При этом следует принимать во внимание не только гидрогеологические условия, но также и технико-экономические факторы (например, длину и стоимость водопровода), санитарные требования (в частности, необходимость отделения скважины от сооружений, выделяющих загрязнения) и другие требования (например, необходимость заложения скважины вне зоны затопления паводковыми водами и т. п.).

В конце введения надо привести перечень опубликованных и неопубликованных материалов, использованных при составлении проекта.

Если скважину проектируют, чтобы использовать безнапорные (грунтовые )воды, на режим которых решающее влияние оказывают местная гидрографическая сеть и климатические условия, после введения должна быть помещена глава, анализирующая влияние этих факторов на режим подземных вод. Если эти местные факторы играют второстепенную роль (например, при проектировании скважины на артезианский водоносный горизонт), это глава может быть опущена, а краткие сведения о гидрографической сети и климатических условиях участка — включены во введение.

II. Геолого-геоморфологическая характеристика. Эта глава состоит из нескольких разделов. В первом разделе должен быть помещен обзор геоморфологических условий района как части более крупного геоморфологического региона или определенной ландшафтной зоны и собственно участка бурения как элемента этой части или зоны. Следует оценить влияние этих условий на гидрогеологию района и определить, благоприятны ли они для заложения скважины по санитарным условиям.

Во втором разделе, в котором описываются стратиграфия и литология, должны быть рассмотрены последовательно (начиная с древнейших) все свиты, ярусы, горизонты и пласты на данном участке с характеристикой условий их залегания, мощности, состава и свойств. На участке разреза, соответствующем проектной глубине скважины, эта характеристика должна быть подробной, на большей глубине она может быть более схематичной.

В этом же разделе целесообразно привести геологические разрезы существующих скважин, если они достаточно полно иллюстрируют геологию района и могут являться опорными для проектирования новой скважины.

Для районов, сложных в тектоническом отношении (преимущественно горных и предгорных), в третьем разделе должны быть приведены основные черты тектоники, имеющие значение для гидрогеологической характеристики района и в той или иной мере влияющие на степень и характер обводненности пластов.

III. Гидрогеологическая характеристика. В этой главе должны быть описаны в стратиграфической последовательности все те водоносные горизонты (начиная с древнейших), которые может вскрыть скважина. При этом желательно охарактеризовать условия их

питания и дренирования, а также определить их удельный дебит, коэффициенты фильтрации, дать сведения о химическом и бактериальном составах, физических свойствах воды, положении статического уровня каждого горизонта, пределах сезонных изменений уровня, изменени и минерализации воды в течение года и другие данные о режиме подземных вод рассматриваемого горизонта.

Выводы. В этом разделе должна быть приведена сравнительная оценка всех природных санитарных и экономических факторов, а также преимуществ и недостатков того или иного водоносного горизонта. На основе этой оценки выбирают один или несколько горизонтов, наиболее соответствующих требованиям задания, обосновывают целесообразность бурения разведочно-эксплуатационной скважины и намечают ее глубину.

## § 2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Специальная часть проекта должна представлять собой записку, в которой рассматриваются вопросы, непосредственно связанные с бурением и опробованием разведочно-эксплуатационной скважины.

1. Предварительный геологический разрез. Этот разрез составляют на основе разрезов ближайших скважин с соответствующими коррективами (например, на разницу в отметках поверхности земли, на возможные структурные изменения и др.) или строят предположительно на основе общей геолого-гидрогеологической характеристики района (рис. 71).

В предварительном разрезе должны быть указаны: 1) стратиграфические индексы пород, ярусов, горизонтов, свит и пластов; 2) литологическое описание; 3) категории пород по буримости в соответствии с их классификацией согласно справочникам, по которым составляется смета на бурение и опробование проектируемой скважины (табл. 42)[1]; 4) мощность и глубина залегания подошвы пород; 5) водоносные горизонты с указанием положения уровня воды и ориентировочной величины удельного дебита.

Проектируемая конструкция скважины и фильтра приводится с указанием начального и конечного диаметров и глубины спуска обсадных колонн соответственно намеченному способу бурения. Не исключается разработка конструкции в двух вариантах — для ударно-канатного и роторного способов бурения.

---

[1] *Сметы на бурение и опробование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения надлежит составлять согласно Сборнику единых районов единичных расценок на строительные работы (скважины), утвержденных Госстроем СССР для применения с 1/I 1969 г. (Л. «Судостроение», 1968) и дополнения к нему, утвержденным Госстроем СССР 15/II 1972 г. для применения с 1/IV 1972 г.*

*Сметы на установку эксплуатационных насосов надлежит составлять только после сооружения и опробования скважин, согласно Ценнику на монтаж оборудования № 7 (Компрессорные машины, насосы и вентиляторы), утвержденному Госстроем СССР для применения с 1/I 1969 г. (М., «Машиностроение», 1968).*

При проектировании конструкции скважины иногда следует принимать во внимание потерю диаметра скважины. Когда это возможно, следует предусматривать резерв диаметра, т. е. задаваться конечным диаметром скважины, большим расчетного на один диаметр. Конструкцию фильтра не следует разрабатывать во всех деталях, так как литологический состав и мощность водоносного горизонта уточняются после его вскрытия и проходки. В проекте предусматриваются только вид фильтра и его основные параметры (габариты) с некоторым запасом и с учетом возможности внесения в конструкцию изменений, зависящих от фактических данных.

II. Опробование скважины. В разделе должны быть перечислены все откачки: предварительная — для опробования водоносных горизонтов, встреченных в процессе бурения скважины, а также опытная или пробно-эксплуатационная — для опробования горизонта, намеченного по проекту к эксплуатации в качестве источника водоснабжения объекта.

Должны быть указаны: продолжительность и производительность откачек, их число, величина, количество и последовательность понижений, а также особые условия проведения откачки: проведение откачек при питании скважины только через забой, после установки временного фильтра, при соединении нескольких горизонтов, изоляции одного или некоторых из них и др. Здесь же следует указать порядок отбора проб воды для проведения химикобактериологического исследования, количество отборов и объем отбираемых проб.

III. Проект проведения работ. В этом разделе должны быть указаны способ бурения, глубина спуска отдельных обсадных колонн и особые условия проходки горных пород при том или ином способе бурения. При роторном бурении к этим условиям относятся: применение глинистого раствора с различными показателями удельного веса, вязкости и т. д., а также колонковых долот для отбора керна на определенных глубинах и интервалах представляющих интерес с геолого-гидрогеологической точки зрения. При ударном бурении к этим условиям относятся применение метода расхаживания и «вывешивания» отдельных колонн труб в процессе их спуска, установка переводников с левой резьбой для их последующего отвинчивания и извлечения, тампонов глины во избежание заклинивания колонн при переходе на колонну меньшего диаметра в песчаной толще и т. д. Далее должны быть указаны приемы изготовления и установки фильтра и сальники. Необходимо оговорить также, что отдельные элементы конструкции фильтра, а иногда даже тип фильтра могут быть изменены после окончания бурения в зависимости от особенностей литологического состава вскрытого водоносного горизонта, применительно к которым и должны вноситься соответствующие коррективы. Здесь же должны быть даны указания о высоте подъема рабочей колонны труб для обнажения фильтра и пр. В параграфе об опробовании скважины необходимо

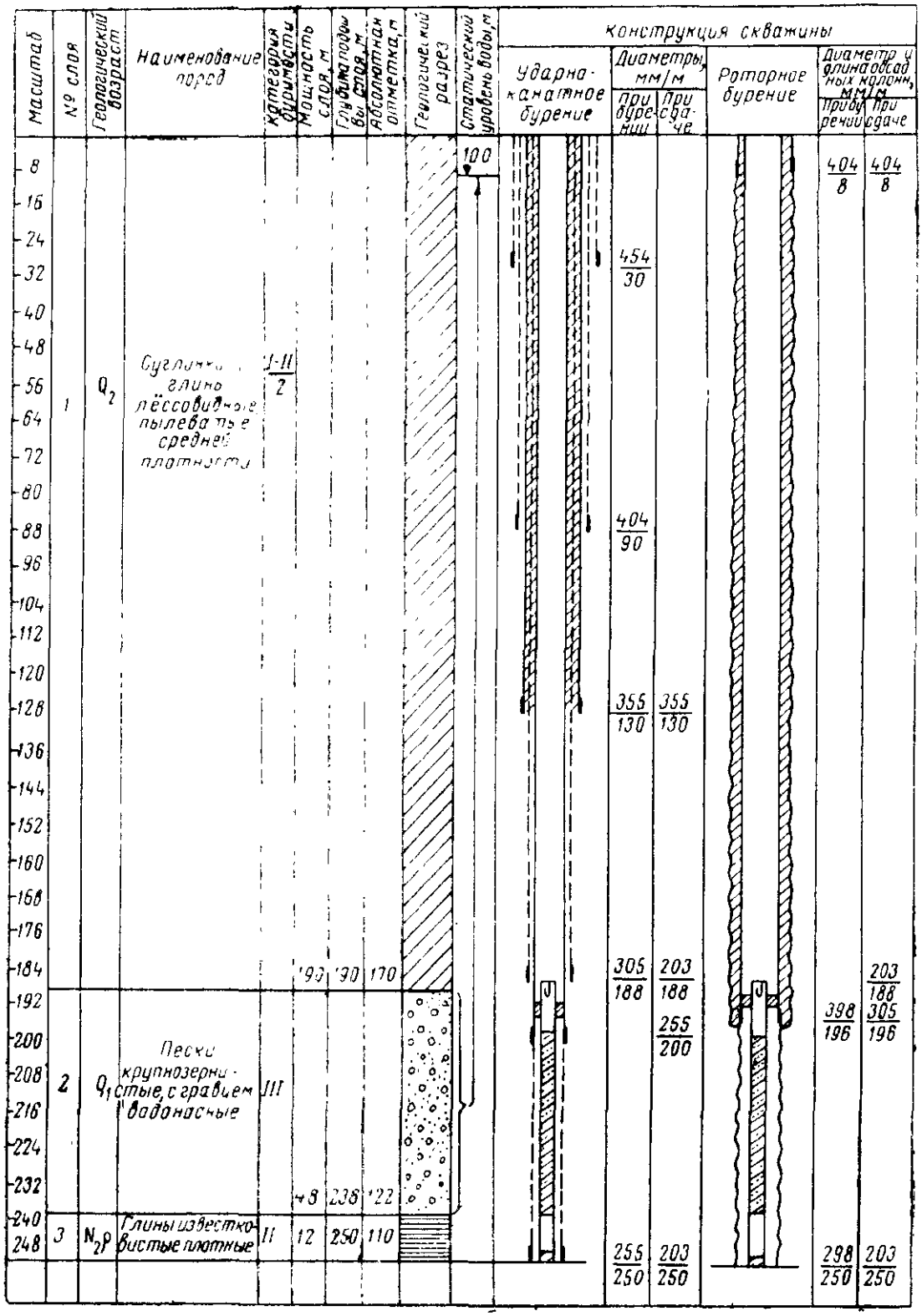



Рис. 71. Проектный геолого-технический разрез

указать тип водоподъемника, рекомендуемого для проведения откачки, способы измерения понижений и дебита при откачке, частоту этих измерений, особые наблюдения за ходом откачки, порядок наблюдений за уровнем в соседних скважинах и т. д.

В отдельном параграфе должен быть изложен порядок отбора и документации образцов горных пород, проходимых в процессе бурения скважины, порядок отправки их на анализы гранулометрического состава, водных вытяжек и т. д.

Далее необходимо отметить специальные работы, которые нужно

**Основные проектные данные скважины**

1 Местоположение - санаторий „Мечта" в 2 км к югу от ст Машюки, Черноморской ж д и в 3 км к западу от пос Майский Васильевского района Шевченковской области Украинской ССР

2 Абсолютная высота устья, м 360,0

3 Глубина до забоя, м 250,0

4 Геологический возраст намеченного к эксплуатации водоносного горизонта $N_{2p}$

5 Статический уровень воды, м 10,0

6 Расчетный дебит воды, м³/ч 60,0

7 Удельный дебит, м³/ч 8,0

8 Динамический уровень, м ≈ 18-20

9 Фильтр проволочный, шаг навивки проволоки подбирается в соответствии с механическим составом водоносной породы, скважность каркаса 20%, перфорация - по стандарту

10 Тип сальника-резиновый, зажимной

11 Эксплуатационный насос АТН-10-1-11 или 10-АП-18×6

12 Показатели минерализации воды - сухой остаток 0,5-0,6 г/л, общая жесткость 15-18°Н

**Условия производства работ**

**I Для бурения ударно-канатного**

1 Бурение ведется с соблюдением конструкции $\frac{454(18")}{30} \times \frac{404(16")}{90} \times \frac{355(14")}{130} \times \frac{305(12")}{188} \times \frac{255(10")}{250}$; муфты обсадных труб должны быть тонкостенные или предварительно обточены.

2 Глубина отвальных обсадных колонн может корректироваться в соответствии с действительным геологическим разрезом по усмотрению геолога конторы бурения, но водоносный горизонт должен быть вскрыт при диаметре скважины не менее заданного.

3 После установки фильтра эксплуатационную колонну ф 255 приподнимают для его обнажения, после опробования скважины обсадные колонны ф454, ф404 и ф 305 извлекают полностью

4 Перед сдачей скважины в эксплуатацию должен быть залит цементом кольцевой зазор между обсадной колонной ф 355 и эксплуатационной колонной ф255

**II Для бурения роторного**

1 После установки направления ф 404 (16") бурение ведется долотом РХ ф 398 (15¾") до глубины 196 м, удельный вес глинистого раствора 1,10-1,15, вязкость по СПВ-5 при трубке ф 5 мм 16-17 с, содержание песка не более 4% по весу

2 После вскрытия кровли водоносного горизонта в скважину спускают колонну ф 305 мм и цементируют.

3 Проходка водоносного горизонта ведется долотом РХ ф 298 (11¾") до проектной глубины, удельный вес глинистого раствора 1,2-1,25, вязкость по СПВ-5 22-24 с, содержание песка то же.

4 При бурении в водоносном горизонте следует взять грунтоносом не менее трех проб песка и гравия в интервале глубин 205-240 м. По окончании бурения должен быть проведен каротаж скважины.

5 Фильтр должен быть установлен тотчас же по окончании бурения и каротажа скважины, после чего следует немедленно приступить к откачке

**Спецификация материалов**

| Наименование | Диаметр мм | Единица измерения | Количество | Вес ед. изм кг | Вес общий т | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *I Для ударно-канатного бурения* | | | | | | |
| Трубы обс стальные | 454 | м | 30 | 137,9 | 4,2 | возврат 100% |
| " " " | 404 | " | 90 | 112,6 | 10,1 | |
| " " " | 355 | " | 130 | 99,3 | 13,0 | |
| " " " | 305 | " | 188 | 77,7 | 14,6 | возврат 100% |
| " " " | 255 | " | 250 | 58,8 | 14,7 | возврат 20% |
| " " " | 203 | " | 62 | 41,6 | 2,6 | |
| Башмаки стальные | 454 | шт | 1 | | 59,2 | |
| " " | 404 | " | 1 | | | |
| " " | 355 | " | 1 | | | |
| " " | 305 | " | 1 | | | |
| " " | 255 | " | 1 | | | |
| Проволока стерж | 3-4 | кг | | | | по расчету |
| Цемент | | | | | | " |
| *II. Для роторного бурения* | | | | | | |
| Трубы обс стальные | 404 | м | 8 | 112,6 | 0,9 | |
| " " " | 305 | " | 196 | 77,7 | 15,2 | |
| " " " | 203 | " | 62 | 41,6 | 2,6 | |
| | | | | | 18,7 | |
| Башмаки стальные | 404 | шт | 1 | | | |
| " " | 305 | " | 1 | | | |
| Проволока стерж | | кг | | | | по расчету |
| Цемент | | " | | | | " |

**Оборудование водоприемной части и опробование скважины**

Водоприемная часть скважины при обоих способах бурения оборудуется проволочным фильтром (ф каркаса 203 мм). Фильтр устанавливается в потай с разжимным сальником резиновым или пеньковым. Надфильтровая часть должна входить в эксплуатационную колонну не менее чем на 5 м. Верх отстойника должен находиться на 2-3 м выше водоупорной подошвы.

Пробную откачку необходимо провести с помощью эрлифта. Дебит при откачке следует довести до 80-100 м³/ч.

Ориентировочная продолжительность откачки 15 смен, из которых не менее 6 смен откачка должна проволжаться после полного осветления воды при установившемся дебите и стабильном понижении уровня.

В конце откачки должна быть взята проба воды для химико-бактериологического исследования

| Штамп проектной организации | |
|---|---|
| Проект разведочно-эксплуатационной скважины на воду | |
| Объект | Подписи лиц, составивших, проверивших и выпустивших проект |

разведочно-эксплуатационной скважины на воду

выполнить перед сдачей скважины в эксплуатацию: вид и способ цементирования отдельных колонн труб, полное или частичное извлечение некоторых колонн после их отвинчивания или вырезки и т. д.

Необходимо также дать указание о том, что окончательно выбрать местоположение скважины нужно с участием представителя местной санитарной инспекции.

Весьма желательно до составления проекта получить заключение санитарной инспекции о местоположении скважины. Такое

*Таблица 42*

**Классификация горных пород для бурения вращательным и ударно-канатным способами**

| Наименование и характеристика пород | Группа пород при способе бурения | |
|---|---|---|
| | вращательном | ударно-канатном |
| Ангидрит | IV | IV |
| Боксит | IV | IV |
| Валунно-галечные отложения | X | VII |
| Гипс | III—IV | IV |
| Глины: | | |
| а) средней плотности с наличием гравия и гальки | II | II |
| б) плотные загипсованные с наличием гравия и гальки | III | III |
| в) валунные | V | IV |
| Гравийно-галечные грунты: | | |
| а) гравий и галька размером до 80 мм | V | V |
| б) галька размером до 150 мм с небольшим количеством крупных валунов | VII | VII |
| Диабазы: | | |
| а) выветрившийся | VI | V |
| б) затронутый выветриванием | VII | VI |
| в) крепкий, не затронутый выветриванием | VIII | VII |
| Диатомиты | III | II |
| Доломиты: | | |
| а) мягкий, пористый, выветрившийся, средней крепости | IV | IV |
| б) плотный, крепкий | IV | V |
| Дресва | V | V |
| Известняки: | | |
| а) мягкий, пористый, выветрившийся, а также ракушечник | III—IV | IV |
| б) доломитизированный мергелистый, плотный | V | V |
| в) окварцованный крепкий | VII | VI |
| г) кремнистый, очень крепкий, скарновый | IX | VII |
| Кварцы и кварциты: | | |
| а) пористые, поздреватые и сланцеватые (в том числе слабовыветрившиеся), кварцевокарбонатовые породы | VII—VIII | VI |
| б) жильные, сланцеватые, сливные мелкозернистые кварцевокарбонатовые породы | IX—X | VII |
| Конгломераты: | | |
| а) осадочных пород на известковом цементе | VI | V |
| б) изверженных пород (с галькой до 50% по объему) на песчано-глинистом цементе, осадочных пород на кремнистом цементе, изверженных пород на известковом цементе | VII—VIII | VI |
| в) изверженных и кристаллических пород на кремнистом цементе | IX | VII |

*Продолжение табл. 42*

| Наименование и характеристика пород | Группа пород при способе бурения | |
|---|---|---|
| | вращательном | ударно-канатном |
| Колчеданы и железняки: | | |
| а) выветрившиеся сыпучие | VI | IV |
| б) плотные невыветрившиеся | VII—VIII | V |
| в) окварцеванные или окремненные | IX—X | VII |
| Коренные излившиеся породы (андезиты, базальты, диабазы, трахиты, мандельштейны и др.) | VIII | VI |
| Лесс: | | |
| а) рыхлый и слежавшийся | I—II | I—II |
| б) плотный | III | III |
| Магнезит | IV | IV |
| Мел: | | |
| а) мягкий | III | II |
| б) плотный | IV | IV |
| Мергели: | | |
| а) мягкий, рыхлый | II | III |
| б) плотный, крепкий | III—IV | IV |
| Мерзлые грунты: | | |
| а) лед | II | III |
| б) водоносный песок, ил, торф, глины с примесью гравия и гальки | IV | IV |
| в) гравийно-песчаные грунты, галечники, плотные глины, плотные суглинки и супеси, плотный ил | V—VI | V |
| Мрамор | V | V |
| Пемза | III—IV | III |
| Опоки | IV | IV |
| Почвенно-растительный слой без корней и с корнями деревьев и кустарника | I—II | I—II |
| Пески: | | |
| а) речной и слабосцементированный с содержанием гравия и гальки до 20% по объему | I—II | I—II |
| б) то же, с содержанием гравия и гальки более 20% по объему | III | III |
| в) сухой | III | III |
| Песчаники: | | |
| в) выветрившийся или слабосцементированный на глинистом и известковом цементе, железистый и известковый | III—IV | IV |
| б) плотный на известковом, железистом и глинистом цементе, полевошпатовый | V—VI | V |
| в) окварцованный и кварцевый | VII | VI |
| г) кремнистый и окремненный | IX | VII |
| Плывуны | II | III |
| Соль каменная (галит) | IV | IV |
| Сланцы: | | |
| а) выветрившиеся песчано-глинистые (горючие) | III—IV | III |
| б) глинистые, углистые и талькохлоритовые средней крепости, выветрившиеся окварцованные | V | IV |

*Продолжение табл. 42*

| Наименование и характеристика пород | Группа пород при способе бурения | |
|---|---|---|
| | вращательном | ударно-канатном |
| в) аспидные, кровельные, глинисто-слюдяные | VI | V |
| г) крепкие окварцованные, окремненные | VII—VIII | VI |
| д) кремнистые | IX | VII |
| Супеси и суглинки: | | |
| а) с примесью гравия и гальки по объему до 20% | I—II | I—II |
| б) то же, от 20 до 30% | III | III |
| в) то же, более 30% | III | IV |
| Торф без корней и с корнями | I | I—II |
| Трепел: | | |
| а) слабый | I—II | I—II |
| б) плотный | III | III |
| Туф: | | |
| а) средней крепости | III—IV | III |
| б) окремненный | IX | VI |
| Уголь: | | |
| а) слабый | III | II |
| б) средней крепости | IV | III |
| в) крепкий (антрациты и др.) | V | IV |
| Фосфориты | | |
| Коренные глубинные породы (граниты, диориты, сиениты, гнейсы, габбро, порфириты, пегматиты и др.): | | |
| а) выветрившиеся | V—VI | V |
| б) затронутые выветриванием | VII—VIII | VI |
| в) крупно- и среднезернистые не затронутые выветриванием | IX | VI |
| г) мелкозернистые, не затронутые выветриванием | X | VII |

заключение в значительной степени облегчает составление проекта и способствует нахождению правильных решений при выборе деталей конструкции скважины с учетом местных санитарных условий.

Приложением к разделу, освещающему условия проведения работ, является спецификация материалов, требующихся для сооружения скважины: лесоматериалов, цемента, глины, обсадных труб, башмаков, троса и т. п.

## § 3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СОГЛАСОВАНИЙ И ПОЛУЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ НА БУРЕНИЕ СКВАЖИНЫ НА ВОДУ

Постановлением Совета Министров СССР от 4 сентября 1959 г. за № 1036 «Об усилении государственного контроля за использованием подземных вод и о мероприятиях по их охране» установлено,

что методическое руководство всеми проводимыми на территории СССР работами по изучению и использованию подземных вод, их охране от истощения и загрязнения, а также координацию этих работ осуществляют Министерство геологии СССР и Министерство здравоохранения СССР.

Бурение эксплуатационных скважин на воду, переоборудование разведочных скважин в эксплуатационные, передача для эксплуатации, строительство и переоборудование других водозаборных сооружений для использования подземных вод проводятся только с разрешения республиканских органов геологии или территориальных геологических управлений (трестов).

Водозаборы должны строиться в соответствии с проектом водоснабжения, в котором должна быть учтена перспектива роста водопотребления в дальнейшем.

В республиканские органы геологии или территориальные геологические управления (тресты) для получения разрешения на бурение эксплуатационных скважин на участке вновь проектируемого или расширяемого действующего водозабора должен представляться проект, включающий данные о потребности в воде, гидрогеологических условиях района водозабора, общей компоновочной схеме водозабора в конструкциях отдельных скважин, их оборудовании и намечаемом размещении, данные об эксплуатационном дебите, качестве воды, зонах санитарной охраны и др.

Проект водозабора должен быть предварительно согласован с областными (краевыми), городскими или районными органами государственного санитарного надзора в зависимости от того, на какой территории находится объект. Кроме того, предварительно следует согласовать проект также с органами коммунального хозяйства, когда участок проектируемого водозабора находится в черте города или рабочего поселка.

Постановлением Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. за № 425 «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» дополнительно установлено, что бурение новых скважин на воду, переоборудование разведочных скважин в эксплуатационные, строительство и переоборудование водозаборных сооружений для использования подземных вод проводятся также по согласованию с органами Советов Министров республик [1] по использованию и охране водных ресурсов (Госводхозами), заключения которых по вопросам обеспечения подземной водой населения и распределения ее между отдельными отраслями народного хозяйства обязательны.

---

[1] *В настоящее время — Министерства мелиорации и водного хозяйства.*

*ГЛАВА XII*

# ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ, КОНТРОЛЬ И ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ БУРЕНИИ И ОПРОБОВАНИИ СКВАЖИНЫ

Буровая скважина представляет собой выработку в недрах земли, недоступную для осмотра. Нередко при бурении скважины можно судить о составе проходимых пород и водообильности горизонтов только на основе косвенных показателей.

Геологическое строение и гидрогеологические условия чрезвычайно разнообразны, вследствие чего при бурении скважины очень часто возникают трудности. В процессе разведочно-эксплуатационного бурения по проекту необходимо принимать во внимание вскрываемый в действительности разрез, сохраняя в то же время все основные параметры скважин, заданные по проекту.

Правильность, точность и полнота ведения геолого-технической документации скважин имеют большое значение, которое объясняется следующими положениями.

1. Процессы сооружения и опробования скважин состоят не только из элементов горнобурового дела, но и в значительной мере включают элементы разведочно-исследовательского и опытного характера.

Буровая скважина на воду представляет собой в то же время сложное инженерное сооружение, находящееся при эксплуатации в постоянном длительном взаимодействии с разнообразными горными породами и подземными водами.

Поэтому точность и полноценность геолого-технической документации в процессе сооружения скважины важны для своевременного внесения в запроектированную конструкцию правильных коррективов применительно к встреченным геолого-гидрогеологическим условиям.

2. Буровые скважины на воду характеризуются в основном довольно значительными глубинами. В связи с этим достоверные данные о геологических разрезах этих скважин представляют ценность для пополнения и детализации имеющихся сведений и материалов о геологическом строении и гидрогеологических условиях страны, особенно в малоизученных районах.

Эти материалы представляют интерес для уточнений общих и специальных геологических карт и других графических построений и геологических документов, имеющих общегосударственное значение. Успешное осуществление этих положений возможно только

при условии ведения буровых работ на воду под гидрогеологическим руководством и контролем.

Геолого-техническая документация состоит из первичной (полевой), окончательной и фондовой (справочной).

Первичная документация ведется непосредственно на месте работ и является исходным материалом для всех дальнейших расчетов, построений, выводов и обобщений по одной скважине или группе их.

Окончательная документация в значительной мере основывается на данных первичной документации и должна представлять собой гидрогеологическую и инженерную интерпретацию всех данных, имеющих отношение к скважине как эксплуатационному сооружению. Эта документация должна включать паспортные данные скважины и содержать рекомендации в отношении режима эксплуатации.

Фондовая (справочная) документация является обобщением материалов, получаемых в результате бурения на воду в пределах района, производственной деятельности бурового треста или конторы. Эта документация также очень важна, поскольку главное ее назначение — обеспечить быстрое получение любых справок, относящихся к геологическому строению и гидрогеологическим условиям территории района бурения.

## § 1. ПЕРВИЧНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

### Ударно-механическое бурение

Геолого-техническую документацию должны вести коллекторы под руководством и контролем гидрогеолога.

Эта документация включает наблюдения за положением забоя скважины, глубиной башмака обсадной колонны, составом и свойствами проходимых пород, положением уровня подземных вод и другими явлениями, которые имеют значения для характеристики геолого-гидрогеологических условий (устойчивость или обрушение пород при «подработке» ниже башмака, «подачу» рыхлообломочных, насыщенных водой пород в трубы, образование так называемых «пробок», «провалы» инструмента и др.).

Образцы пород нужно отбирать в количестве, достаточном для характеристики всех вскрытых напластований. Особое внимание необходимо уделять водоносным породам. Поэтому образцы следует отбирать в двух экземплярах при каждом изменении характера породы, ее состава, плотности, твердости, цвета, размера частиц и т. д.

В однообразных мощных толщах образцы следует отбирать через каждые 1,5—2,0 м. Когда же бурение ведется в малоизученном районе, образцы нужно отбирать через 0,5—1,0 м, даже при проходке однородных пород.

Образцы плотных связных пород следует отбирать из-под клапана желонки или брать пробоотборником. Если взять образец из-под клапана невозможно, то следует слить мутную воду, извлеченную желонкой, в какой-либо сосуд и после того, как она отстоится, взять образец из отстоявшегося осадка.

В образцах рыхлых водоносных пород, отобранных для лабораторных исследований из желонки, структура оказывается нарушенной; когда необходимо получить образцы с ненарушенной структурой, следует пользоваться специальным пробоотборником.

При бурении гравийно-песчаных водоносных пород нужно брать образец из желонки после ее последнего спуска на забой. Породу, извлеченную из скважины, необходимо тщательно перемещать и взять среднюю пробу для данной глубины забоя.

Все образцы, отобранные для характеристики геологического разреза, укладывают в ящики длиной 1 м со стандартными ячейками размером 10×10×10 см. В каждую ячейку вместе с образцом вкладывают этикетку со следующими данными: 1) № скважины, 2) № образца, 3) глубина взятия образца, 4) название породы, 5) мощность пласта, 6) глубина подошвы пласта, 7) дата взятия образца, 8) подпись лица, взявшего образец.

Все ящики с образцами из данной скважины номеруют и на стенке каждой ячейки указывают порядковый номер образца и глубину, с которой он взят.

Для определения глубины кровли и подошвы пластов проходимых пород необходимо знать глубину, на которой в данный момент работает буровой инструмент. Глубину скважины обычно измеряют от верхней муфты последней колонны обсадных труб. Чтобы определить, на какой глубине находится буровой инструмент в данный момент работы, нужно прикрепить на рабочем тросе метку, поместив ее на известном расстоянии от верха муфты обсадной трубы при спущенном на забой инструменте.

По положению метки, находящейся выше или ниже муфты во время бурения, всегда можно измерить глубину, на которой работает в данный момент буровой инструмент. После очередной посадки или подъема колонны обсадных труб метку на рабочем тросе следует укреплять заново.

Положение уровня воды в скважине фиксируют не менее четырех раз в смену: в начале смены перед спуском инструмента, перед перерывом на обед, после перерыва и в конце смены. Уровень воды в скважине измеряют хлопушкой или электроуровнемером.

Косвенными показателями и признаками вскрытия и проходки скважиной водоносного горизонта служат:

1) литологический состав пород, типичный для водоносных горизонтов (пески, гравий, галечники, мел, опоки, известняки, доломиты и пр.);

2) «чистый» (обмытый водой в скважине) внешний вид бурового инструмента при извлечении его на поверхность.

Признаки для ориентировочной оценки степени водоносности проходимого горизонта следующие:

1) значительное понижение уровня воды в скважине при чистке ее желонкой (если водоносный горизонт не закрыт обсадными трубами);

2) «чистота» забоя при бурении в скальных породах (известняках, доломитах, песчаниках и пр.).

Первый признак указывает на незначительную водоотдачу, второй, наоборот, — на большую водообильность горизонта.

Перечисленные явления, если они наблюдаются в процессе работы, должны быть зафиксированы в сменном рапорте и буровом журнале.

Признаком вскрытия следующего водоносного горизонта будет изменение положения уровня воды в скважине во время бурения.

## Роторное бурение

При роторном бурении гидрогеологический контроль и наблюдения на каждой скважине должен проводить специальный персонал. Кроме того, по окончании бурения проводятся каротажные работы, которые выполняют специализированные геофизические партии.

Во время бурения долотами типа РХ и шарошечными необходимо фиксировать относительную буримость пород, расход циркулирующего промывочного раствора, изменение его состава и свойств под влиянием разбуриваемых пород и проходимых водоносных горизонтов, вынос отдельных обломков пород, а также частиц песка и гравия, вынос палеонтологических остатков, изменения в характере работы долота, ротора и насоса, вызванные встречей пород, резко различных по буримости. После подъема бурового инструмента необходимо определить характер и степень износа долота.

В малоизученных районах, а также в районах, отличающихся сложностью и пестротой геологического строения, документацию следует вести на основании данных бурения при помощи колонковых долот с непрерывным отбором керна.

Относительная буримость пород определяется:

1) по механической скорости бурения;
2) по средней величине давления на забой;
3) по скорости вращения ротора в 1 мин;
4) по давлению, развиваемому насосом;
5) по степени и характеру износа долота.

Расход промывочной жидкости — косвенный показатель проницаемости пород и, следовательно, их водоносности. Поэтому в процессе бурения следует фиксировать изменение объема циркулирующей промывочной жидкости, а также уровень ее в чанах и отстойниках. Необходимо также измерять расход выходящей из скважины промывочной жидкости. Эти измерения удобнее всего проводить объемным способом при помощи мерного ящика.

Надо также фиксировать наблюдения за составом и свойствами промывочного раствора: его удельным весом, вязкостью, величиной отстоя, процентным содержанием в нем песка и температурой при изливе.

При роторном бурении без непрерывного отбора керна основная геологическая документация заключается в изучении шлама.

Изменения характера или режима работы долота, ротора и насоса — косвенные показатели встречи нового пласта породы. Показания приборов, регистрирующих работу бурового агрегата, необходимо заносить в сменный рапорт и в буровой журнал. В то же время нужно обстоятельно документировать характер изменений, происходящих в работе.

После подъема инструмента надо промерить долото и отметить в карточке степень и характер его износа.

## Документация керна при бурении колонковыми долотами

Горные породы, составляющие керн, по мере извлечения их из колонковой трубы последовательно укладывают в специальные керновые ящики, после этого керн очищают от промывочного раствора. При описании керна следует указывать размер частиц и характер их окатанности, степень засоренности глинистыми частицами, цементирующий материал и степень сцементированности, характер слоистости, трещиноватость. включения, цвет и т. п., а также номер отобранного образца, глубину и мощность интервала, характеризуемого этим образцом.

После осмотра и описания керна намечают места отбора из него образцов для лабораторных исследований, составив схематический геологический разрез, указывают номера образцов, предназначенных для исследований. Эти образцы откладывают или выпиливают, парафинируют и снабжают этикеткой с указанием глубины взятия образца, а также номера образца и скважины. Для проведения исследований необходимо иметь керны диаметром не менее 45 мм, а образцы — длиной 110—120 мм.

Совершенно обязательно для разведочно-эксплуатационных скважин, пробуренных роторным способом, проводить геофизические исследования.

Результаты их должны сопоставляться с данными перечисленных непосредственных наблюдений, которые надлежит принимать во внимание при отработке и интерпретации каротажных диаграмм.

К геофизическим (каротажным) исследованиям относятся: методы КС и ПС, гамма-каротаж, нейтронный гамма-каротаж, резистивиметрия, электротермометрия, инклинометрия и пр.

При исследованиях и документации неглубоких скважин несложных конструкций с простым геолого-гидрогеологическим разрезом в хорошо изученных районах допускается ограничивать геофизические исследования двумя методами (КС и ПС). Для решения же более трудных задач на скважинах, глубоких и сложных по конструкции, в районах, малоизученных в гидрогеологическом отношении, необходимо проводить более полный комплекс геофизических исследований.

При пробных откачках из одиночных скважин важно установить положение динамического уровня и дебита.

При откачке из вновь сооружаемой скважины, расположенной вблизи существующей, необходимо отмечать положение уровня также и в существующей скважине для выяснения их взаимодействия. Определять положение динамического уровня следует одновременно с измерением дебита скважины.

При откачке следует также записывать данные наблюдений за температурой и прозрачностью воды, наличием примеси в ней частиц породы и т. д. После окончания откачки регистрируется время восстановления первоначального уровня воды в скважине.

## § 2. ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Окончательная документация должна представлять собой отчет о работе, включающий геолого-технический паспорт скважины, в который занесены сведения о ее проходке и оборудовании.

Окончательная документация по сооруженной скважине, состоящая из текста и графических материалов, должна быть краткой и четко отражать особенности геологического строения и гидрогеологических условий на участке, в пределах которого расположена скважина. В то же время она должна содержать техническую характеристику скважины как постоянно действующего инженерного сооружения.

Окончательная документация содержит ряд разделов.

В в е д е н и е. В него должны быть включены координаты скважины или сведения о ее точном местонахождении (расстояния в километрах или метрах) с указанием направления по странам света от ближайшего определенного ориентира (населенного пункта или железнодорожной станции), названия района, области, края, республики, а также сведения об абсолютной высоте устья скважины, особых требованиях проекта к качеству воды (к ее физическим свойствам и химическому составу), о целевом назначении воды и о водоподъемнике для постоянной эксплуатации.

Г е о л о г о - г е о м о р ф о л о г и ч е с к и й о ч е р к. В этом разделе кратко рассматриваются общие вопросы геологического строения района в той мере, в которой они обусловливают его гидрогеологические особенности. Здесь же должна быть приведена стратиграфическая и литологическая характеристики всех вскрытых скважиной свит, горизонтов и пластов, начиная с древнейших. Тектоника района должна быть освещена конспективно в той мере, в какой она обусловливает специфику гидрогеологии района.

В этом же разделе приводится краткая геоморфологическая характеристика района, если она дает возможность понять закономерности происходящих гидрогеологических процессов, поскольку элементы геоморфологии могут оказывать влияние на местные гидрогеологические условия.

Гидрогеологический очерк. Здесь надо дать общую характеристику включенного в эксплуатацию водоносного горизонта и его сравнительную оценку по отношению к другим горизонтам, пройденным скважиной. особенно когда согласно условиям проекта они подлежат опробованию.

Исследования химического состава воды, обычно выполняемые районными санитарно-эпидемиологическими лабораториями, неполны, поэтому в окончательную документацию желательно включать данные гидрохимических исследований, проведенных в более совершенно оборудованной лаборатории.

Специальная часть при окончательной документации может быть подразделена на более мелкие главы, в каждой из которых рассматриваются отдельные вопросы. Специальная часть всегда должна содержать следующие сведения.

1. Полные и точные данные о конструкции скважины и фильтра, проведенном цементировании или тампонировании, вырезке и извлечении лишних колонн обсадных труб, сальнике и т. д. с описанием способов и приемов проведенных работ. Необходимо сравнить конструкцию скважины с проектными данными и объяснить причины, вызвавшие внесение изменений в запроектированную конструкцию.

2. Описание опытных или пробно-эксплуатационных откачек с указанием их продолжительности и на основании полученных результатов — расчетное обоснование проектной или максимально возможной производительности скважины. Кривая дебита должна быть рассчитана на основе не менее двух понижений уровня при откачке, за исключением тех случаев, когда производительность скважины при одном понижении была равна проектной или превышала последнюю.

При расчете возможной производительности по формулам Дарси, Келлера, Альтовского и других следует иметь в виду, что пределы допустимой экстраполяции зависят не от механического применения той или иной формулы, а от гидравлического состояния водоносного горизонта, изменений фильтрационной способности горизонта по вертикали, а следовательно, и от соотношений между удельным дебитом и понижением уровня.

3. Рекомендации наиболее выгодного и удобного постоянного водоподъемника и режима эксплуатации, а также основные правила санитарной охраны. Необходимо привести указания о рекомендуемой глубине погружения водоподъемника в скважину, скоординировав эту величину с положением расчетного уровня, а также с размером и особенностями конструкции самого водоподъемника.

В целом краткое гидрогеологическое заключение должно быть основным исходным техническим документом для инженера, проектирующего водоснабжение объекта на базе данной скважины, содержать краткую памятку по эксплуатации скважины и в то же время быть полноценным геолого-гидрогеологическим документом для пополнения государственного геологического фонда.

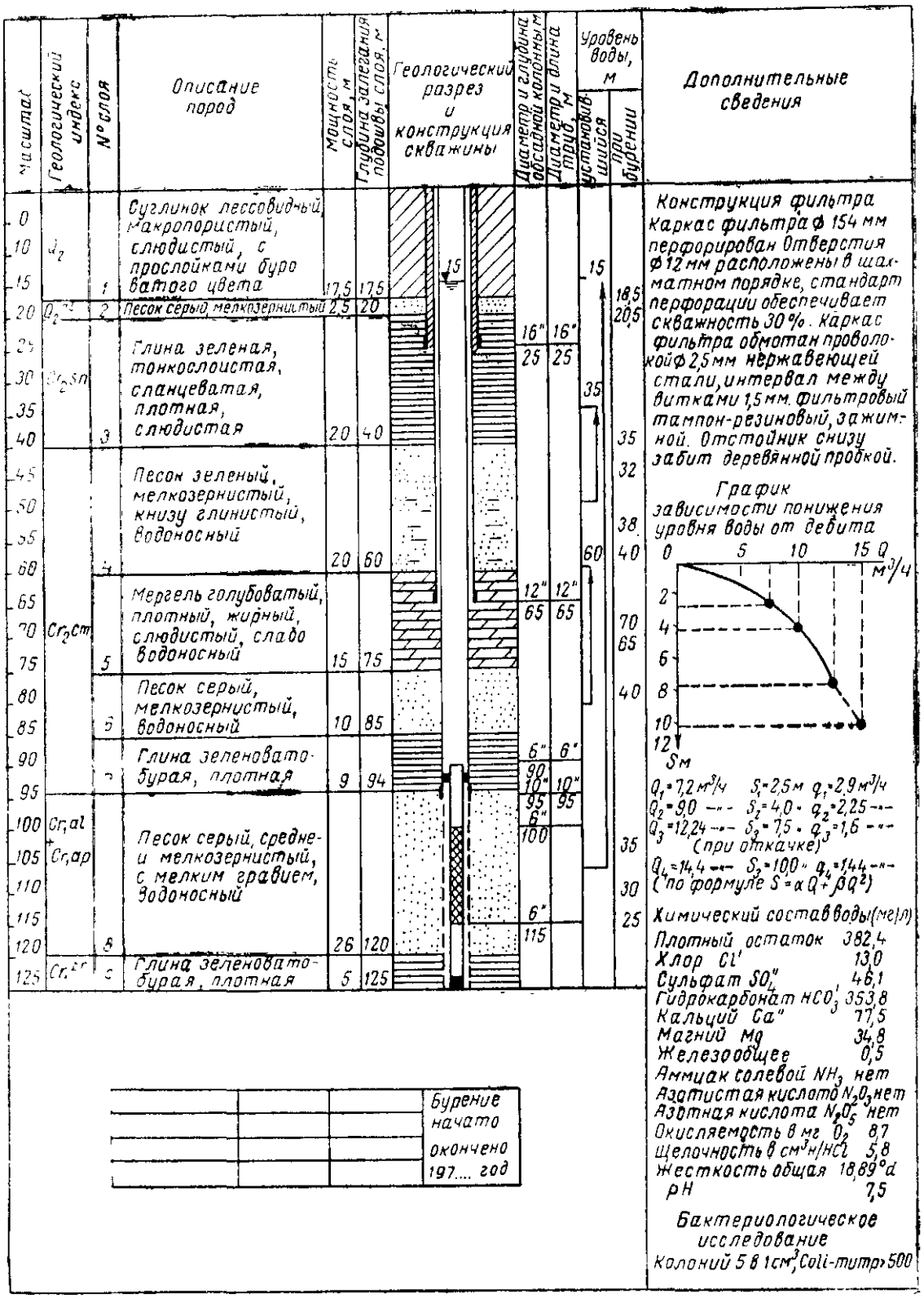



Рис. 72. Геолого-технический разрез разведочно-эксплуатационной скважины на воду (после окончания бурения и опробования)

Объем краткого гидрогеологического заключения о сооруженной скважине нельзя заранее регламентировать. Объем заключения может изменяться в довольно значительных пределах в зависимости от геолого-гидрогеологической сложности и изученности района, глубины скважины и сложности ее конструкции, включая и водоприемную часть, запроектированного дебита и особых требований проекта как в отношении качества воды, так и условий бурения и опробования.

Графическая часть заключения может состоять из выкопировки из мелкомасштабной карты (ситуационного плана местности) с нанесением местоположения скважины и геолого-технического разреза (рис. 72) сооруженной скважины в том состоянии, в котором она передается в эксплуатацию. Для скважин, пробуренных роторным способом, в составе графических материалов должны быть также каротажные диаграммы.

На чертеже должны быть обязательно указаны: точное местоположение скважины по отношению к ближайшим ориентирам или его географические координаты; абсолютная отметка устья; конструкция и способ бурения скважины; сроки начала и окончания работ; принятый масштаб и шкала глубины; порядковые номера слоев пройденных пород; стратиграфические индексы и литологическая характеристика пройденных пород с указанием их состава, сложения, состояния и свойств (в частности, водоносности); глубина подошвы и мощность слоя.

После этого должна следовать двойная колонка, изображенная условными знаками, внутри которой показывается конструкция скважины и фильтра. В следующих графах указываются глубина спуска обсадных колонн и длина труб, фильтровых колонн и т. п. В отдельной графе должны быть приведены уровни воды, наблюдавшиеся в процессе бурения и установившиеся для каждого водоносного горизонта.

В правой части чертежа можно поместить график кривой дебита скважины при откачке и продолжать в виде пунктирной линии кривую возможного дебита, полученную расчетным путем. Здесь же следует привести формулу, по которой проводился расчет, и указать величину удельного дебита для различных величин понижения.

Под графиком производительности скважины могут быть приведены данные лабораторного исследования физических свойств, химического и бактериального состава воды, а также гранулометрического состава водоносной породы.

## § 3. СПРАВОЧНАЯ И СВОДНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

При большом количестве геолого-технической документации в фондах организации, производящей буровые работы, ее целесообразно систематизировать. В результате возникает дополнительная систематическая документация, которую можно подразделить на два основных вида: первичную, справочную и сводную, обобщающую.

Справочная документация — это сокращенная паспортизация окончательных документов. Основу систематической документации справочного характера составляет картотека, содержащая все основные сведения по каждой скважине, алфавитный справочник по районам и областям, журнал регистрации, в который заносятся сокращенные сведения о скважинах под единой порядковой нумерацией, крупномасштабная обзорная карта с нанесенными точками расположения скважин и т. д.

Картотека — основной фонд для справок, поскольку в каждую карточку заносятся все сведения, касающиеся адреса (района, области железной дороги), планово-высотного положения, геологического разреза, гидрогеологических условий, конструкции и производительности скважины. Нередко достаточно ознакомиться с содержанием карточки для получения основных необходимых сведений, не рассматривая полные гидрогеологические материалы.

Алфавитный справочник составляется для удобства пользования по принципу так называемой «двойной привязки», т. е. местоположение скважины определяется по отношению к ближайшей железнодорожной станции и ближайшему населенному пункту. Каждый из этих ориентиров заносится в алфавитный справочник и возле каждого из них указывается один и тот же порядковый номер скважины. При большом количестве скважин на определенных территориях алфавитный справочник может составляться с подразделением его по наименованиям административных районов и областей.

Карточки в картотеке распределяются в порядке возрастающих номеров. Таким образом, зная название населенного пункта, железнодорожной станции, района или области, можно тотчас же определить по алфавитному справочнику номер скважины и найти карточку в картотеке. Зная только номер скважины или год ее сооружения, можно также быстро найти сведения о ней в журнале регистрации с единой порядковой нумерацией, в котором фиксируются также и другие дополнительные данные, касающиеся ее геолого-технической характеристики. По этим данным нетрудно установить район или область, в пределах которых расположена скважина, после чего карточку можно найти в картотеке.

Точки расположения скважины с указанием порядковых номеров следует наносить на обзорную карту. Наиболее удобны для нанесения скважин карты масштаба 1 : 500 000 и крупнее. Карта с нанесением на нее скважинами всегда может быть использована в качестве рабочей основы для дальнейшей работы по обобщению гидрогеологических материалов.

Сводная систематическая документация заключается в обобщении гидрогеологических материалов для определенных территорий. Это обобщение может быть осуществлено различными методами и развиваться в различных направлениях в зависимости от геолого-гидрогеологической специфики района производственной деятельности организации.

Тематика сводной документации может быть весьма разнообразной, но в то же время направленность тематики следует сочетать с особенностями геологического строения и гидрогеологических условий района. Значительный интерес представит, например, составление карт изопьез основных водоносных горизонтов для районов развития артезианских бассейнов, карт кровли и подошвы этих горизонтов, геолого-гидрогеологических профилей по некоторым направлениям и т. п. При разработке тематики сводной

документации можно использовать имеющиеся материалы других организаций, дополнять и уточнять существующие опубликованные и фондовые материалы и т. д. Все тематические работы, кроме графических построений, должны содержать также текстовую часть, поясняющую и дополняющую графический материал.

Не следует составлять общих гидрогеологических карт и очерков района, так как обычно в распоряжении буровой организации нет достаточного количества материалов для их обоснования. Значительно эффективнее рассматривать вопросы более узкие, специфические, направленные на решение конкретных практических задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Абрамов С. К.*, *Бабушкин В. Д.* Методы расчета притока воды к буровым скважинам. М., Госстройиздат, 1955, стр. 381.

2. *Абрамов С. К.*, *Семенов С. П.*, *Чалищев А. М.* Водозаборы подземных вод. М., Госстройиздат, 1956, стр. 256.

3. *Алимов А. К.* О питании грунтовых вод напорными в условиях Северной Мугани. — «Разведка и охрана недр», 1967, № 2, стр. 52—55.

4. *Альтовский М. Е.* Некоторые новые данные об органических веществах в подземных водах и процессах нефтеобразования. — В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Изд. МГУ, 1962, стр. 175—189.

5. *Альтовский М. Е.*, *Кузнецова З. И.*, *Швец В. М.* Образование нефти и формирование ее залежей. М., Гостоптехиздат, 1958, стр. 168.

6. *Ананьев Н. И.*, *Демин Н. Д.* К вопросу о распространении загрязнений в подземных водах. — «Гигиена и санитария» 1971, № 8, стр. 103—104.

7. *Антонов Ю. И.* Запасы и размещение подземных вод на территории Таджикской ССР. — В кн.: Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 11, изд-во ФАН, Ташкент, 1970, стр. 184—185.

8. *Арутюнов В. Д.*, *Бабель И. В.*, *Белякова Т. М.*, *Жаворонков А. А.* Уровни содержания фтора в природных водах гранитного массива Кокчетау в связи с эндемией флюороза. — В кн.: Геохимия ландшафта. Вып. 1—2., М. 1968, стр. 29—30.

9. *Афанасьев Т. П.* Гидрогеология и гидрохимия Поволжья. М., «Наука», 1965, стр. 171.

10. *Ахмедсафин У. М.* Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. Изд-во АН Каз. ССР, 1961, стр. 106.

11. *Бабенко И. И.*, *Зубарева Т. В.* Инфильтрационные водозаборы. — В кн.: Проблемы водоснабжения и обводнения на Северном Кавказе. Ростов-на-Дону, 1967, стр. 49—59.

12. *Бабушкин В. Д.*, *Глазунов И. С.*, *Гольдберг В. М.* Поиски, разведка, оценка запасов и эксплуатация линз пресных вод. М., «Недра», 1969, стр. 304.

13. *Багдасарьян Г. А.*, *Абиева Р. М.* Выживаемость энтро- и аденовирусов в воде. — «Гигиена и санитария», 1971, № 3, стр. 10—13.

14. *Балашов Л. С.* Сурхан-Дарьинский артезианский бассейн. Изд-во АН СССР, 1960, стр. 279.

15. *Батюков Г. В*, *Косвинцева Г. П.*, *Старцева С. У.* Особенности режима и химического состава подземных вод в водозаборах Березниковско-Соликам-

ского района. — В кн.: Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск, 1969, стр. 87—89.

16. *Бедер Б. А.* Ферганский артезианский бассейн. Ученые записки Среднеазиатского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья, вып. 10, Ташкент, 1963, стр. 31—47.

17. *Бейером С. Г., Михайлова Е. В.* Подземные воды Кулунды на службу сельскому хозяйству. — «Советская геология», 1955, № 44, стр. 47—54.

18. *Белицкий А. С.* Определение границ второго пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1955, № 3, стр. 9—12.

19. *Белицкий А. С.* Вопросы гидрогеологического обоснования зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения. — «Гигиена и санитария», 1961, № 1 стр. 15—18.

20. *Белицкий А. С.* Формирование вод каменноугольных отложений центральной части Московского артезианского бассейна. — В кн.: Охрана и использование подземных вод. Труды Акад. коммун. хоз. им. К. Д. Памфилова, вып. XXVII, 1964, стр. 53—70.

21. *Белицкий А. С., Николаева Т. А.* Закономерность распределения фтора в водах каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины. — «Советская геология», 1955, № 44, стр. 78—86.

22. *Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970, стр. 215.

23. *Богомолов Г. В., Богомолов Ю. Г.* Искусственное питание подземных вод. «Известие АН СССР. Сер. геологич.», 1967, стр. 145—150.

24. *Богомолов Г. В., Яншина М. С., Плотникова Г. Н.* Подземные воды центральной и западной частей Русской платформы (палеозой). Изд-во АН БССР, 1962, стр. 170.

25. *Бочевер Ф. М.* Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968, стр. 325.

26. *Бочевер Ф. М., Веригин Н. Н.* Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М., Госстройиздат, 1961, стр. 199.

27. *Буданов Н. Д.* Подземные воды Челябинской области и использование их для водоснабжения сельского хозяйства. — В кн.: Вопросы водоснабжения сельского хозяйства в районах Урала и Зауралья. М., Госгеолтехиздат, 1956, стр. 49—97.

28. *Буданов Н. Д.* Гидрогеология Урала. М., «Наука», 1964, стр. 304.

29. *Бурахович М. С., Колесников А. С., Островская Т. И.* Влияние золоотстойника теплоэлектростанции на качество подземных вод. — «Гигиена и санитария», 1972, № 3, стр. 97—99.

30. *Бухтояров А. П., Устинова Л. С.* Случай загрязнения подземного водоисточника нефтью. — «Гигиена и санитария», 1971, № 9, стр. 94.

31. *Вайсман Я. И., Немковский Б. Б.* Влияние подпора Камского водохранилища на качество подземных вод в районе Березников. — «Гигиена и санитария», 1963, № 6, стр. 15—20.

32. *Вайсман Я. И.* О распространении бактериальных загрязнений в подземных водах. — «Гигиена и санитария», 1964, № 4, стр. 19—23.

33. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1950, стр. 278.

34. *Владимирский В. И.* О гидрогеологических критериях при установлении зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения. — «Разведка и охрана недр». 1962, № 8, стр. 41—47.

35. *Володько И. Ф.* Использование подземных вод для орошения и водоснабжения. М., Сельхозгиз, 1953, стр. 216.

36. *Ворошилов Ю. И.* К оценке загрязнения подземных вод. — «Гигиена и санитария», 1965, № 2, стр. 5—9.

37. *Ворошилов Ю. И.* Стронций в воде подземных источников водоснабжения центра Европейской части СССР. — «Гигиена и санитария» 1970, № 4, стр. 113—114.

38. *Ворошилов Ю. И.* Геохимия фтора в водах карбона Московского артезианского бассейна. М., «Недра», 1972, стр. 95.

39. *Вортман З. М.* Практика ударно-канатного бурения на воду. «Недра», 1971, стр. 294.

40. *Временные* технические рекомендации по сооружению бесфильтровых скважин на воду. ВНИ гидротехники мелиорации им. А. Н. Костякова. Сост. В. М. Беляков и Н. Г. Сапожников. М., 1971, стр. 34.

41. *Врочинский К. К.* Охрана подземных вод Украинской ССР от загрязнения пестицидами. — В кн.: Охрана подземных вод УССР от загрязнения и истощения. Киев «Наукова Думка», 1970, стр. 14—16.

42. *Габович Р. Д.* Фтор и его гигиеническое значение. М., Медгиз, 1957, стр. 250.

42, а. *Гаврилко В. М.* Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин. М., Стройиздат, 1968, стр. 397.

43. *Гаврилко В. М., Киселев О. К.* Фонтанирующие скважины в сельском хозяйстве. М., «Колос», 1968, стр. 215.

44. *Гармонов Н. В., Иванов А. В., Нефедова Е. И.* Подземные воды юга Западной Сибири и условия их формирования. Изд-во АН СССР, 1961, стр. 128.

45. *Гавшина З. П.* Повышение степени агрессивности грунтовых вод на территории химических предприятий. — «Промышленное строительство», 1968, № 3, стр. 18—19.

46. *Гатальский М. А.* Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы. М., Гостоптехиздат. 1954, стр. 172.

47. *Гидрогеологическое* районирование и региональная оценка ресурсов подземных вод Казахстана. Алма-Ата, «Наука», 1964, стр. 307.

48. *Городецкий Е. В., Локтева К. И., Воробьева Н. С.* Исследование подземных вод северо-западного района Европейской части СССР на содержание ДДТ. — В кн.: Вопросы санитарной охраны внешней среды, гигиены труда и профилактики заболеваний. Л., 1970, стр. 49—50.

49. *Грачева М. П.* О загрязнении подземных вод твердыми отходами промышленного производства. — «Гигиена и санитария», 1970, № 1, стр. 101—102.

50. *Грачева М. П.* Ухудшение качества пресных аллювиальных вод под влиянием минерализованных вод нижележащего горизонта. — «Гигиена и санитария», 1970, № 5, стр. 24—26.

51. *Гуляев Н. Ф.* Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения. Изд-во Министерства коммун. хоз. РСФСР, 1951, стр. 112.

52. *Двоскин М. В., Сенченок Л. Н.* О загрязнении подземных вод Луганской области. — В кн.: Охрана подземных вод УССР от загрязнения и истощения. Вып. 2, Киев, «Наукова думка», 1970, стр. 33—34.

53. *Дискаленко А. П.* Метгемоглобинемия водно-нитратного происхождения в Молдавской ССР. — «Гигиена и санитария», 1968, № 7, стр. 30—34.

54. *Дубровский В. В.* О проектировании артезианских скважин и гидрогеологическом районировании. — «Разведка и охрана недр», 1958, № 11, стр. 59—61.

55. *Дубровский В. В.* О способах бурения разведочно-эксплуатационных скважин на воду. — «Труды Акад. коммун. хоз. им. К. Д. Памфилова, 1964, вып. XXVII, стр. 136—141.

56. *Дубровский В. В.* Изыскания подземных вод для водоснабжения энергетических объектов. М., «Энергия», 1967, стр. 196.

57. *Дубровский В. В.* О несоответствии нормативов Госстроя требованиям стандарта. — «Стандарты и качество», 1968, № 10, стр. 36—37.

58. *Ермиченко И. И., Исайкин Н. П., Ларченко А. Т.* Бурение гидрогеологических скважин с обратной всасывающей промывкой. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 8, стр. 53—56.

59. *Зайцев И. К.* Региональные закономерности гидрохимии подземных вод СССР. — В кн.: Проблемы гидрогеологии. М., Госгеолтехиздат, 1960, стр. 42—51.

60. *Запарий М.* Ресурсы подземных вод и перспективы их использования в СССР. Бюл. по водному хозяйству СЭВ, 1969, № 4, стр. 87—94.

61. *Инструкция* по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1962, стр. 86.

62. *Калабин А. И.* Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР. — «Труды ВНИИзолота и редких металлов», т. XVIII, Магадан, 1960, стр. 469.

63. *Каменский Г. Н.* Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. — «Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР», Т. VI, Изд-во АН СССР, 1949, стр. 5—21.

64. *Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин Н. И.* Гидрогеология СССР. М., Госгеолтехиздат, 1959, стр. 366.

65. *Каменский Г. Н., Гармонов И. В., Богданов Г. Я.* Грунтовые воды Прикаспийской низменности и их режим. Изд-во АН СССР, 1960, стр. 182.

66. *Кандрор И. С., Бокина А. И.* Материалы к физиологическому обоснованию норматива солевого состава питьевых вод. — «Гигиена, эпидемиология, макробиология и иммунитет». 1957, № 1, 3, стр. 23—26; 21—24.

67. *Кастальский А. А., Минц Д. М.* Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962, стр. 558.

68. *Кеймах А. С., Хаит К. Б.* Влияние орошения сточными водами Шкодогорского массива на загрязнение подземных вод. — В кн.: Гигиена населенных мест, Киев, 1969, стр. 35—37.

69. *Клячко В. А., Апельцин И. Э.* Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения. М., Госстройиздат, 1962, стр. 819.

70. *Книжников В. А.* Флюороз в Казахстане и значение фтора питьевой воды для здоровья населения. — «Труды Казахского института эпидемиологии, микробиологии и гигиены». Т. 3, Алма-Ата, 1958, стр. 80—157.

71. *Книжников В. А.* Оценка качества питьевой воды в свете современных гигиенических представлений. — В кн.: Охрана и использование подземных вод. Труды Акад. коммун. хоз. им. К. Д. Памфилова, 1964, вып. XXVII, стр. 3—12.

72. *Козлова Э. В., Петраков Е. В., Саргоянц П. А.* О влиянии химического состава вод на степень выщелачивания фтора из пород. — В кн.: Материалы по гидрогеологии и геологической роли подземных вод. Изд. Ленинградского университета. 1971, стр. 252—256.

73. *Королева О. Н., Серобабова Е. А.* Санитарная охрана и качество подземных вод в некоторых районах Юго-Востока РСФСР. — В кн.: Охрана и использование подземных вод. Труды Акад. коммун. хоз. им. К. Д. Памфилова, 1964, вып. XXVII, стр. 98—105.

74. *Крайнов С. Р.* Об уникальных содержаниях фтора в подземных водах Левозерского массива и влиянии фтора на миграцию в них кремнезема. ДАН СССР. Т. 174, 1967, № 2, стр. 455—458.

75. *Крепгорский А. Н., Богусевич Л. Н.* Фтор в природных водах Казахстана. Гидрохимические материалы. Изд-во АН СССР, Т. XXI. 1953, стр. 24—29.

76. *Куделин Б. И.* Об упругом запасе вод артезианских пластов. — «Разведка и охрана недр», 1958, № 10, стр. 40—44.

77. *Куделин Б. И.* Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Изд. МГУ, 1960, стр. 344.

78. *Кудрявцева Б. М.* Влияние Люберецких полей фильтрации на состав подземных вод. — «Гигиена и санитария», 1968, № 2, стр. 104—107.

79. *Кудрявцева Б. М.* Выживаемость и условия распространения бактерий группы кишечной палочки в подземных водах. — «Гигиена и санитария», 1970, № 6, стр. 14—19.

80. *Кудрявцева Б. М.* Экспериментальные данные о сорбционных возможностях водонасыщенных грунтов и выживаемость E — Coli при условии бактериального заражения подземных вод. — «Гигиена и санитария», 1972, № 7, стр. 19—23.

81. *Кунин В. Н.* Местные воды пустыни и вопросы их использования. Изд-во АН СССР, 1959, стр. 283.

82. *Ланге О. К.* Подземные воды СССР, ч. I и II. Изд. МГУ, 1959, 1963, стр. 270 и 284.

83. *Лукашев К. И., Маркова А. П.* Микроэлементы в природных водах районов распространения лессовых пород Белоруссии. ДАН СССР, 1960, Т. 134, вып. 6, стр. 1436—1439.

84. *Маврицкий Б. Ф.* Западно-Сибирский артезианский бассейн. — «Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР». Т. 39, изд-во АН СССР, 1962, стр. 175.

85. *Малоян А. В., Малоян Э. А.* Практические расчеты по бурению скважин на воду. М., «Недра», 1968, стр. 203.

86. *Маркин Б. П.* Эксплуатационная надежность скважин на воду. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 8, стр. 23—26.

87. *Мельников П. И., Ефимов А. И.* Опыт эксплуатации подземных вод в области распространения вечной мерзлоты Центральной Якутии. Изд-во АН СССР, 1953, стр. 150.

88. *Мещенко В. М., Котелянская Л. И., Алексик В. И.* Содержание некоторых микроэлементов в питьевых водах и почвах сельских районов различных геоморфологических зон Закарпатской области. — В кн.: Вопросы гигиены села. Госметиздат УССР, Киев, 1962, стр. 88—91.

89. *Минкин Е. Л.* Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М., «Недра», 1967, стр. 124.

90. *Могилевский Я. А.* Санитарные требования к качеству подземных вод. — В кн.: Сооружение, оборудование и эксплуатация скважин для сельского водоснабжения. М., Госгеолиздат, 1955, стр. 31—35.

91. *Могилевский Я. А.* Зоны санитарной охраны источников водоснабжения. Руководство коммунальной гигиены. Т. 2. Медгиз, 1962, стр. 158—174.

92. *Мятиев А. Н.* Напорный комплекс подземных вод и колодцы. Изд-во АН СССР, 1947, № 9, стр. 1069—1088.

93. *Николаев О. В.* Эндемический зоб. М., Медгиз, 1955, стр. 260.

94. *Осинцев Д. К.* Загрязнение подземных вод отходами флотационных цехов железорудного комбината.—«Гигиена и санитария», 1965, № 5, стр. 76—78.

95. *Остапеня П. В.* Санитарная охрана и прогнозирование состава подземных вод в районе их интенсивной эксплуатации. — В кн.: Подземные воды, их использование и охрана. Смоленск, 1963, стр. 63—71.

96. *Павлов А. А.* Изменение режима водоносных горизонтов под влиянием гидростатического давления водохранилищ. — «Гигиена и санитария», 1957, № 11, стр. 75—76.

97. *Петраков Е. В., Козлова Э. В., Саргаянц Н. А.* Фтор в природных водах Молдавии. — В кн.: Проблемы воды в Молдавии. Картя Молдовеняскэ· Кишинев, 1970, стр. 47—56.

98. *Плотников Н. А.* Оценка запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1959, стр. 288.

99. *Плотников Н. И.* Водоснабжение горнорудных предприятий. М., Госгортехиздат, 1959, стр. 528.

100. *Плотников Н. И.* Использование ресурсов пресных подземных вод СССР на ближайшую и далекую перспективу. — В кн.: Использование подземных вод. М., 1969, стр. 3—6.

101. *Поиски* и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Методическое пособие. М., «Недра», 1969, стр. 328.

102. *Пономарев В. М.* Подземные воды территории с мощной толщей многолетнемерзлых горных пород. Изд-во АН СССР, 1960, стр. 200.

103. *Паус К. Ф.* Буровые промывочные жидкости, М., «Недра», 1967, стр. 311.

104. *Рекомендации* по бурению скважин большого диаметра роторным способом с обратной промывкой. ВНИИ «Водгео». Госстрой СССР. 1971, стр. 74.

105. *Романика Л. И., Клименко В. И.* Гидрогеологический очерк Азово-Кубанского артезианского бассейна. М., «Наука», 1964, стр. 87.

106. *Руденко Ф. А.* Гидрогеология Украинского кристаллического массива. М., Госгеолтехиздат, 1958, стр. 215.

107. *Салтыков Е. В.* Проектирование зон санитарной охраны источников водоснабжения. Изд. Министерства коммун. хоз. РСФСР, 1959, стр. 130.

108. *Семенов М. П.* Основные определения и классификация запасов подземных вод для целей водоснабжения. — «Советская геология», № 19, 1947, стр. 65—75.

109. *Сидельникова Е. А., Талдыкин Е. М.* Изменение химического состава подземных вод в районе г. Воронежа. — «Разведка и охрана недр», 1965, № 7. стр. 46—49.

110. *Скопинцев Б. А.* Органическое вещество в природных водах (водный гумус). — «Труды Государственного океанографического института», вып. 17 (29). М., Гидрометиздат, 1950, стр. 290.

111. *Соколов Д. С.* Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962, стр. 322.

112. Сооружение, оборудование и эксплуатация скважин для сельского водоснабжения. — «Труды совещания ВНИТОгорное и ВНИТОводоснабжения». М., Госгеолтехиздат, 1955, стр. 222.

113. *Справочник* гидрогеолога (под общей редакцией М. Е. Альтовского). М., Госгеолтехиздат, 1962, стр. 616.

114. *Справочник* по бурению и оборудованию скважин на воду. (Под редакцией В. В. Дубровского). М., «Недра», 1972, стр. 512.

115. *Справочное* руководство гидрогеолога (под общей редакцией В. М. Максимова). Т. 1 и 2, М., Гостоптехиздат, 1967, стр. 592 и 360.

116. *Субботин Ф. Н.* Нитраты питьевой воды и их влияние на образование метгемоглобина. — «Гигиена и санитария», 1961, № 2, стр. 13—17.

117. *Сурень янц Я. С.* Водяные скважины. Изд. Министерства коммун. хоз. РСФСР, 1961, стр. 318.

118. *Токарев А. Н., Щербаков А. В.* Радиогидрогеология. М., Госгеолтехиздат. М., 1956, стр. 263.

119. *Троянский С. В.* Гидрогеологические особенности Центрального Казахстана и возможные источники подземных вод для водоснабжения сельского хозяйства. — «Советская геология», вып. 44. Госгеолтехиздат, 1955, стр. 12—20.

120. Указания по проектированию сооружений для забора подземных вод. М., Стройиздат, 1966, стр. 86.

121. *Фотиев С. М.* Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна. М., «Наука», 1965, стр. 230.

122. *Хасанов В. Х., Врочинский К. К., Шапочникова Р. А.* Гигиенические вопросы питьевого водоснабжения Хорезма в связи с применением пестицидов в хлопководстве. — «Гигиена и санитария», 1970, № 5, стр. 89—91.

123. *Хасанова Л. А., Юсупов Р. Г., Султаноджаев А. Н.* К гидрохимии фтора. — В кн.: Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 9, ФАН. Ташкент, 1969, стр. 144—155.

124. *Хордикайнен М. А.* Итоги изучения подземных вод для водоснабжения в Джезказганском промышленном районе. — «Разведка и охрана недр», 1965, № 9, стр. 41—43.

125. *Хордикайнен М. А.* Изучение водообильности крутопадающих известняков. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 3, стр. 51—53.

126. *Хохловкин Д. М.* Глубинные насосы для водопонижения и водоснабжения. М., Госгортехиздат, 1971, стр. 264.

127. *Черкинский С. Н.* Гигиенические цели водоснабжения; Водный фактор заболеваемости населения; Гигиеническое обоснование нормативов качества питьевой воды. В кн.: Руководство коммунальной гигиеной. Т. 11. Медгиз, 1962, стр. 11—17, 31—71, 85—113.

128. *Черкинский С. Н.* Новый международный стандарт качества питьевой воды. — «Гигиена и санитария», 1965, № 2, стр. 89—92.

129. *Черкинский С. Н., Минкин Е. Л.* Облегченные приемы определения границ зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. — «Гигиена и санитария», 1970, № 12, стр. 3—10.

130. *Черненко И. М.* Об условиях разгрузки артезианских вод Приаралья. Изв. Высших учебных заведений. Сер. «Геология и разведка», 1965, № 3, стр. 140—141.

131. *Чубаров В. Н.* Питание грунтовых вод песчаной пустыни через зону аэрации (механизм, методы изучения, оценка). М., «Недра», 1972, стр. 136.

132. *Шагоянц С. А* Подземные воды центральной и восточной частей Северного Кавказа. М., Госгеолтехиздат, 1959, стр. 306.

133. *Швец В. М.* Органическое вещество в грунтовых водах севера Европейской части СССР. — В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии' вып. 19. М., Госгеолтехиздат, 1961, стр. 41—48.

134. *Швецов П. Ф.* Подземные воды Верхоянско-Колымской горноскладчатой области и особенности их проявления, связанные с низкотемпературной вечной мерзлотой. Изд-во АН СССР, 1951, стр. 278.

135. *Щелкачев В. Н.* Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. М., Гостоптехиздат, 1959, стр. 467.

136. *Щелкачев. В. Н., Лапук Б. Б.* Подземная гидравлика. М., Гостоптехиздат, 1949, стр. 524.

137. *Einsele* gerhard. Kunstliche «Süsswasser Banriere» gegen grundwasser verscuchung durch Meerwasser. Z. Dtsch. geol. gas., vol 114, No 3, 1962.

138. *Howell Frank* T. The significance of the ingress of saline waters into the Permo — Triassic aquifers of South Lancashire. «Water and Water Eng». vol. 69, **No 835, 1965.**

139. *Nickols M. S.* Mc Nall D. R. Strontium Content of Wisconsin Municipal Wan fer. I. «American Water Works. Assoc», vol. 49, No 11, pp. 1493, 1957.

140. *Smith Robert* C. Reletion of sereen desing to the desing of mechanically efficint wells J. «American Water Works Assoc»., vol. 55, No 5, pp. 609—664, 1963.

## *ОГЛАВЛЕНИЕ*


Стр.

Предисловие . . . . . 3

*Глава I.* **Основные условия проектирования скважин для водоснабжения** 5

*Глава II.* **Эксплуатационные и санитарные требования, предъявляемые к скважинам на воду** . . . . . 14

§ 1. Определение требуемого эксплуатационного дебита скважины 14
§ 2. Требования к качеству воды . . . . . 17
§ 3. Выбор эксплуатационного насоса . . . . . 21

*Глава III.* **Водообильность скважины и определяющие ее факторы** . . 32

§ 1. Водообеспеченность скважины . . . . . 32
§ 2. Удельный дебит скважины . . . . . 39
§ 3. Определение максимального понижения уровня воды в проектируемой скважине . . . . . 43

*Глава IV.* **Факторы, определяющие химический состав подземных вод** 45

§ 1. Общие закономерности формирования химического состава подземных вод . . . . . 45
§ 2. О некоторых микроэлементах в подземных водах . . . . . 49

*Глава V.* **Выбор водоносного горизонта и участка для бурения скважин в различных гидрогеологических условиях** . . . . . 57

§ 1. Грунтовые воды рыхлых осадочных пород междуречных пространств . . . . . 59
§ 2. Подземные воды в обломочных породах предгорных равнин . 62
§ 3. Линзы пресных вод пустынь . . . . . 65
§ 4. Грунтовые воды отложений аллювиальных террас . . . . . 66
§ 5. Грунтовые воды трещиноватых пород . . . . . 69
§ 6. Артезианские воды . . . . . 76
§ 7. Подземные воды в районах многолетней мерзлоты . . . . . 82

*Глава VI.* **Гидрогеологическое обоснование проекта бурения разведочно-эксплуатационной скважины** . . . . . 86

*Глава VII.* **Санитарно-гидрогеологическое обоснование местоположения разведочно-эксплуатационной скважины и проекта зоны санитарной охраны** . . . . . 96

§ 1. Изменение минерализации воды в процессе эксплуатации скважин . . . . . 101
§ 2. Выбор местоположения скважины . . . . . 111
§ 3. Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения и их гидрогеологическое обоснование . . . . . 121
§ 4. Гидрогеологические расчеты для санитарного обоснования местоположения скважины и границ второго пояса зоны санитарной охраны . . . . . 131

*Глава VIII.* **Применение разных способов бурения в различных гидрогеологических условиях** . . . . . 138

§ 1. Ударно-канатный способ бурения . . . . . 139
§ 2. Роторный способ бурения . . . . . 143
§ 3. Колонковый способ бурения . . . . . 154

*Глава IX.* **Проектирование конструкции разведочно-эксплуатационной скважины** . . . . . 156

§ 1. Определение глубины скважины . . . . . 157
§ 2. Определение эксплуатационного диаметра скважины . . . . 158
§ 3. Определение конечного диаметра скважины . . . . . 159
§ 4. Определение количества колонн обсадных труб, их диаметров и глубины спуска . . . . . 160
§ 5. Некоторые особенности проектирования скважин с асбестоцементными трубами . . . . . 169
§ 6. Особенности проектирования конструкции скважин в районах многолетней мерзлоты . . . . . 171
§ 7. Некоторые особенности проектирования скважин большого диаметра для бурения их с обратной промывкой . . . . . 172
§ 8. Выбор водоприемной части скважин . . . . . 176
§ 9. Особенности проектирования бесфильтровых скважин в мелких песках . . . . . 185
§ 10. Некоторые особенности проектирования глубоких скважин и расчеты обсадных колонн . . . . . 191
§ 11. Основные ошибки в проектировании скважин . . . . . 196

*Глава X.* **Проектирование откачек из скважин** . . . . . 209

§ 1. Назначение откачек . . . . . 209
§ 2. Продолжительность откачек . . . . . 210
§ 3. Величина понижения . . . . . 212
§ 4. Число понижений и их последовательность . . . . . 213
§ 5. Производительность откачки . . . . . 215
§ 6. Проектирование откачек различными водоподъемниками . . 215

*Глава XI.* **Состав и содержание проекта одиночной разведочно-эксплуатационной скважины** . . . . . 224

§ 1. Общая часть . . . . . 224
§ 2. Специальная часть . . . . . 226
§ 3. Порядок оформления согласований и получения разрешения на бурение скважины на воду . . . . . 232

*Глава XII.* **Геолого-гидрогеологические наблюдения, контроль и документация при бурении и опробовании скважины** . . . . . 234

§ 1. Первичная документация . . . . . 235
§ 2. Окончательная документация . . . . . 239
§ 3. Справочная и сводная документация . . . . . 242

Список литературы . . . . . 245

*Арон Самуилович Белицкий,*
*Виктор Викторович Дубровский*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Редактор издательства *Н. А. Круглова*
Переплет художника *Ю. Г. Асафова*
Технический редактор *В. В. Соколова*
Корректор *С. В. Зимина*

Сдано в набор 8/II 1974 г.
Подписано в печать 10/VI 1974 г.
Т-10181. Формат 60 × 90¹/₁₆.
Бумага № 1. Печ. л. 16,0. Уч.-изд. л. 17,62.
Тираж 9000 Заказ № 833/4966—5. Цена 1 р. 09

Издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Ленинградская типография № 6 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
196006, г. Ленинград, Московский пр., 91