

П.П.КЛИМЕНТОВ В.М.КОНОНОВ

МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ**

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника для студентов
горно-геологических
специальностей вузов



Москва · Высшая школа · 1989

ББК 26.326
К49
УДК 551.49

Рецензенты:

кафедра гидрогеологии Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова (зав. кафедрой проф. В. А. Кирюхин) и проф. Л. С. Язвин (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии)

Климентов П. П., Кононов В. М.

К49 Методика гидрогеологических исследований: Учеб. для студ. горно-геол. спец. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. — 448 с.: ил.

ISBN 5-06-000080-X

В учебнике рассмотрены общие принципы изучения месторождений подземных вод и охарактеризованы основные виды современных гидрогеологических исследований, их методика применительно к решению конкретных народнохозяйственных задач. Во втором издании (1-е — 1978 г.) введена новая глава «Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых», отражены новые достижения науки.

К 1804080000(4309000000)—284
001(01)—89 132—89

ББК 26.326
552

Учебное издание

Климентов Петр Платонович, Кононов Валерий Митрофанович

**МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Редактор Т. А. Рыкова. Младшие редакторы Е. И. Попова, Е. В. Бурова. Художник Э. А. Марков. Художественный редактор Т. А. Коленкова. Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор С. К. Завьялова.

ИБ № 7551

Изд. № Е-500. Сдано в набор 18.10.88. Подп. в печать 31.03.89. Т-09097. Формат 60×Х88¹/₁₆. Бум. кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Объем 27,44 усл. печ. л. 27,44 усл. кр.-отт. 32,34 уч.-изд. л. Тираж 4000 экз. Зак. № 829. Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

ISBN 5-06-000080-X

© Издательство «Высшая школа», 1978

© Издательство «Высшая школа», 1989, с изменениями

Гидрогеологические исследования — учение о методах и приемах изучения гидрогеологических условий, выявления месторождений подземных вод и оценки их ресурсов, запасов, режима, качества и особенностей движения подземных вод в целях решения различных народнохозяйственных задач. Это один из основных разделов современной гидрогеологии (науки о подземной гидросфере), изучающей подземные воды как основной компонент подземной гидросферы, как своеобразное природное вещество Земли и как одно из наиболее ценных полезных ископаемых.

Подземные воды, рассматриваемые в гидрогеологии в неразрывной связи и взаимодействии с другими видами природных вод и горными породами, являются одним из наиболее важных и активных видов геологической материи, существенно влияющих на ход геологических процессов земной коры и условия ее образования. Вместе с тем они занимают особое место среди других полезных ископаемых и минералов земной коры как по своей природе, так и по масштабу их использования и значению в различных отраслях народного хозяйства. Невозможно себе представить развитие какой-либо отрасли народного хозяйства без существенного потребления водных ресурсов. Поэтому изучение подземных вод имеет не только огромное практическое, но и большое познавательное значение, представляя важнейший фактор в правильном материалистическом понимании истории развития Земли.

Благодаря тесной связи с родственными науками — геологией, геохимией, геофизикой, гидравликой, гидрологией, гидрохимией, метеорологией, климатологией, почвоведением и многими другими, а также вследствие необходимости всестороннего познания природы и удовлетворения многосторонних требований практики гидрогеология выросла в своеобразную самостоятельную науку, призванную способствовать наиболее полному и рациональному использованию подземных вод и других минерально-сырьевых ресурсов в интересах планомерного развития социалистического народного хозяйства и существенно отличающуюся от других родственных наук своеобразием и спецификой методов исследований и важностью решаемых народнохозяйственных задач.

Методы и приемы изучения гидрогеологических условий, состав, объемы и методика проведения гидрогеологических и других видов специальных исследований зависят от характера решаемых задач, сложности и степени изученности природных условий и других факторов. Однако во всех случаях комплекс предусмотренных гидрогеологических и других видов исследований должен обеспечивать

получение достоверной гидрогеологической информации, необходимой для правильного, научно обоснованного, быстрого и эффективного решения поставленных задач.

Комплекс решаемых методами современной гидрогеологии конкретных практических задач чрезвычайно разнообразен и широк. Он включает: 1) поиски, разведку и оценку эксплуатационных запасов подземных вод для целей водоснабжения населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных предприятий; 2) поиски, разведку и оценку эксплуатационных запасов подземных минеральных, промышленных и термальных вод для курортно-санаторного дела, химической промышленности и теплоэнергетики; 3) изучение гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых с целью определения оптимальных условий их разработки; 4) гидрогеологические исследования для целей орошения и осушения земельных массивов; 5) гидрогеохимические и радиогидрогеологические поиски месторождений полезных ископаемых; 6) гидрогеологическое обоснование новых прогрессивных методов добычи полезных ископаемых (химических, гидравлических и др.); 7) гидрогеологическое обоснование осуществления искусственного пополнения запасов подземных вод и защиты их от загрязнения и истощения; 8) гидрогеологическое обоснование искусственного захоронения промышленных стоков; 9) гидрогеологические исследования в связи с сооружением искусственных подземных хранилищ для нефти и газа; 10) гидрогеологическое обоснование региональных и локальных прогнозов режима подземных вод; 11) гидрогеологические исследования в связи с оценкой техногенного воздействия и охраной геологической среды.

И это еще далеко не полный перечень народнохозяйственных задач, для обоснованного и эффективного решения которых необходимо проведение специальных гидрогеологических исследований.

Гидрогеологические исследования проводятся в обязательном порядке как необходимая и существенная составная часть при изысканиях и строительстве всех крупных сооружений: водохранилищ, плотин, мостов, гидроэлектростанций, тоннелей, железных дорог, автострад, объектов промышленного, военного и гражданского строительства.

В целях обеспечения научной основы для перспективного планирования геологоразведочных, гидрогеологических, инженерно-геологических и других работ, для обоснования генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, для выполнения различных прогнозных региональных оценок и решения многих других важнейших задач осуществляется систематическое гидрогеологическое изучение территории всей страны путем проведения региональных гидрогеологических съемочных работ.

Успех и эффективность решения перечисленных народнохозяйственных задач во многом зависят от правильности и обоснованности выбора и осуществления комплекса гидрогеологических и других видов исследований. Это и составляет основу учения о поисках и

разведке подземных вод. История развития этого учения тесно связана с развитием гидрогеологии как научной отрасли геологии и достаточно детально изложена в работах Д. И. Гордеева, Г. В. Богомолова, Г. Н. Каменского.

Поиски и разведка подземных вод для различных целей в России проводились с давних времен. В указах Петра I, относящихся к XVIII в., например, говорится о необходимости поисков подземных рассолов, пригодных для добычи поваренной соли и лечебных целей. В конце XVIII в. по инициативе М. В. Ломоносова Академией наук был организован ряд экспедиций для изучения природных богатств (в том числе и подземных вод) ряда районов России. Экспедиционные исследования продолжались и в XIX в. Из работ этого периода особо следует отметить гидрогеологические исследования для расширения московского водопровода (в районе с. Б. Мытищи), для водоснабжения г. Петербурга (район Силурийского плато), для изучения истоков русских рек.

Заметно усилились работы по региональному изучению подземных вод с 1882 г., когда Геологический комитет начал проводить планомерное геологическое изучение южных и юго-восточных районов страны и кавказских минеральных вод. Эти работы выполнялись крупнейшими геологами того времени И. В. Мушкетовым, Н. А. Соколовым, С. Н. Никитиным, Н. А. Головкинским, Н. Н. Славяновым и др. В 1886 г. в России впервые в мире была учреждена штатная должность гидрогеолога. Им стал Н. А. Головкинский, организатор бурения артезианских скважин в Крыму и Причерноморье.

Экспедиционные исследования давали ценный материал для оценки водных ресурсов отдельных районов в виде гидрогеологических описаний, геологических и гидрогеологических карт; они имели также большое методическое значение, заложив основу для развития методики гидрогеологической съемки.

Однако до Великой Октябрьской социалистической революции гидрогеологические исследования проводились только попутно, эпизодически, разрозненно, различными организациями и при отсутствии единой методики проведения работ; систематического гидрогеологического изучения территории страны не велось, и гидрогеология развивалась главным образом за счет достижений отдельных передовых деятелей науки.

Только после революции, когда осуществилась национализация всех природных богатств страны, гидрогеология была поставлена на службу народному хозяйству, возникли благоприятные условия для ее развития как науки. Были созданы специальные научные учреждения по изучению и использованию подземных вод; в высших учебных заведениях организованы кафедры гидрогеологии; начал осуществляться планомерный выпуск высококвалифицированных специалистов-гидрогеологов и систематическое гидрогеологическое изучение территории страны. Небывало широкий размах получили гидрогеологические исследования, направ-

ленные на решение самых разнообразных народнохозяйственных задач, разрабатываются и совершенствуются научные основы и методика их проведения.

Значительные гидрогеологические исследования в связи с водоснабжением, орошением, осушением и гидротехническим строительством были выполнены в довоенный период. Однако наибольшего расцвета гидрогеологические исследования, как и наука гидрогеология в целом, достигли в послевоенные годы, в период бурного развития промышленности, сельского хозяйства, жилищного, гидротехнического и других видов строительства и интенсивного народнохозяйственного освоения территории нашей страны (Д. И. Гордеев, 1954).

Научные основы поисков и разведки подземных вод в гидрогеологии были заложены А. И. Силиным-Бекчуриным и Г. Н. Каменским. Большое значение для развития гидрогеологии как науки и, в частности, методики гидрогеологических исследований имели работы советских ученых А. Н. Семихатова, Ф. П. Саваренского, О. К. Ланге, Н. Н. Славянова, В. А. Приклонского, Н. И. Толстихина, М. Е. Альтовского, Н. К. Гиринского, Н. К. Игнатовича, а также работы зарубежных гидрогеологов К. Кейльгака, Ч. Сливтера, Г. Гефера, Е. Принца, В. Кене и др.

Существенный вклад в дальнейшее развитие методов гидрогеологических исследований внесли Г. Н. Каменский, Н. Н. Биндеман, С. К. Абрамов, Н. А. Плотников, Н. И. Плотников, П. П. Климентов, А. М. Овчинников, Ф. М. Бочеввер, Н. Н. Веригин, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, И. А. Скабалланович, Б. И. Куделин, В. М. Шестаков, А. А. Маккавеев, Л. С. Язвин и многие другие советские ученые.

Курс «Поиски и разведка подземных вод» преподается в геологоразведочных вузах и техникумах Советского Союза, начиная примерно с 1930 г. Первыми пособиями по этому курсу служили работы А. И. Силина-Бекчурина. В 1947 г. был опубликован учебник для вузов Г. Н. Каменского «Поиски и разведка подземных вод». «Курс специальной гидрогеологии для техникумов» А. И. Силина-Бекчурина (1937), основательно переработанный, был переиздан под новым названием «Специальная гидрогеология» в 1951 и 1955 гг. В 1961 г. опубликовано учебное пособие П. П. Климентова «Методика гидрогеологических исследований» для вузов, а в 1967 г. его учебник для геологоразведочных техникумов под таким же названием. В 1978 г. вышел в свет учебник для вузов П. П. Климентова и В. М. Кононова «Методика гидрогеологических исследований», обобщающий исследования последних лет.

За последние два-три десятилетия в области гидрогеологии достигнуты существенные успехи и, в частности, в вопросах дальнейшего развития и совершенствования методов гидрогеологических исследований для решения самых разнообразных научных и практических задач. Выполнены значительные исследования по разработке и усовершенствованию методики поисков и разведки раз-

личных типов месторождений подземных вод для целей водоснабжения. Осуществлен большой объем исследований по изучению закономерностей формирования и распространения на территории СССР месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод, по разработке научных основ их поисков, разведки, геолого-промышленной оценки и рационального народнохозяйственного использования.

Значительные успехи достигнуты в области изучения и прогноза режима и баланса подземных вод: разработаны научные основы и методы изучения режима подземных вод, а также методы машинной обработки массовой информации, широко внедряются математические методы при обосновании долгосрочных прогнозов режима подземных вод, наметились пути и методы использования данных режимных наблюдений для определения фильтрационных свойств основных водоносных горизонтов, региональной оценки их эксплуатационных запасов, выполнения долгосрочных региональных прогнозов режима подземных вод и решения других задач.

В последнее время плодотворно развивается гидрогеологическое моделирование, результаты которого используются не только для количественной оценки условий фильтрации в сложной природной обстановке, но и как метод гидрогеологических исследований для более глубокого изучения общих региональных закономерностей формирования, распространения и движения подземных вод, а также научного обоснования методов и объемов проектируемых гидрогеологических исследований.

Значительные работы выполнены в области обеспечения научного гидрогеологического обоснования планирования, проектирования, строительства и эксплуатации систем орошения, осушения, обводнения и водоснабжения сельскохозяйственных объектов.

Разработаны методические руководства по изучению гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых и прогнозу их изменения в процессе эксплуатации месторождений. Получили дальнейшее развитие радиогидрогеологические и гидрогеохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Основные теоретические достижения и проблемы советской гидрогеологии обобщены в 6-томной монографии «Основы гидрогеологии».

В результате крупных региональных гидрогеологических исследований более половины всей территории страны покрыто гидрогеологической съемкой масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000. На основе обобщения материалов всех съемных работ составлены и опубликованы гидрогеологические карты СССР и отдельных регионов, 50-томная монография «Гидрогеология СССР». Региональное монографическое описание позволяет раскрыть общие закономерности формирования и распространения на территории СССР пресных, минеральных, промышленных и термальных под-

земных вод и является надежной научной основой для дальнейшего теоретического развития всех разделов гидрогеологии, а самое главное — для более эффективного, целенаправленного проведения гидрогеологических исследований и изысканий при решении разнообразных народнохозяйственных задач.

На современном этапе в условиях широкого и повсеместного развития гидротехнического и мелноративного строительства, интенсивного отбора из недр земли природных ресурсов (подземных вод, нефти, газа, твердых полезных ископаемых), высоких темпов развития промышленного и сельскохозяйственного производства и других аспектов роста научно-технического прогресса, влияние производственной и инженерной деятельности человека на изменение геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий приповерхностной части земной коры и режима гидросферы оказывается весьма существенным, и последствия такого влияния надо уметь предсказывать, оценивать и учитывать. В таких условиях обоснование проектируемых мероприятий требует проведения комплекса геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, гидрологических, гидрометеорологических, почвенно-агромелиоративных, гидрохимических, биологических и других видов исследований: разработки новых методов исследований и прогноза возможных изменений природных условий во всех аспектах и, наконец, разработки приемов и методов управления этими изменениями в целях полного исключения вредных последствий проектируемых водохозяйственных мероприятий на природу и другие отрасли народного хозяйства и обеспечения комплексного и рационального использования природных ресурсов.

Интенсивное использование водных ресурсов, их неравномерное территориальное распределение и дефицит пресных вод во многих районах вызывают необходимость обоснования и проведения мероприятий по рациональному использованию, охране и искусственному пополнению запасов подземных вод. Важность и необходимость осуществления таких мероприятий вытекают из соответствующих решений партии и правительства, а также положений и законодательств, регламентирующих правила и порядок использования и охраны водных ресурсов и земных недр.

Таким образом, на современном этапе гидрогеология из науки, изучающей природные процессы, становится наукой, управляющей этими процессами и направляющей их на службу обществу, что в свою очередь требует развития и совершенствования методики гидрогеологических исследований. В современной гидрогеологии широко используются как теоретические, так и экспериментальные методы исследований, основанные прежде всего на глубоко и всестороннем анализе конкретной геологической обстановки. Будучи тесно связанной с науками геологического цикла, гидрогеология помимо специальных гидрогеологических методов широко использует наиболее точные и прогрессивные методы исследований родственных наук, в свою очередь обогащая их мето-

дами гидрогеологического анализа, расширяя и углубляя их содержание.

В последние годы развитие методики гидрогеологических исследований происходит в направлении дальнейшей разработки научных основ поисков и разведки месторождений подземных вод; прогнозов изменения гидрогеологических условий; оценки эксплуатационных запасов и прогнозных региональных ресурсов; обоснования методов восполнения, охраны и рационального использования подземных вод; разработки новых, совершенствования существующих и широкого внедрения современных методов исследований, в том числе математических, гидрогеологического моделирования, ядерно-физических, изотопных, геофизических, гидрологических, гидрохимических, космических, микробиологических, технико-экономических, агромелиоративных и др.

Все это должно способствовать эффективному выполнению поставленных перед современной гидрогеологической наукой важнейших народнохозяйственных задач. В частности, предстоит выполнить большие объемы гидрогеологических исследований в связи с решением задач сельскохозяйственного, питьевого и промышленного водоснабжения, орошения и осушения, регулирования речного стока и гидротехнического строительства, теплофикации и теплоэнергетики, охраны природы и рационального использования ее водных, земельных и минерально-сырьевых ресурсов.

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

Основная цель настоящего учебника — дать систематическое изложение основ методики гидрогеологических исследований с учетом высказанных выше положений. По своему содержанию он разделен на две части: в первой рассмотрены общие принципы изучения месторождений подземных вод и охарактеризованы основные виды современных гидрогеологических исследований, во второй (одиннадцать глав) освещены особенности и методика проведения гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач.

Часть первая

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ, СТРУКТУРА И СТАДИЙНОСТЬ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

Изучение подземных вод осуществляется в целях решения самых разнообразных научных и практических задач: обычно подземные воды разведываются и оцениваются как полезные ископаемые с точки зрения возможности их использования в народном хозяйстве (для водоснабжения, орошения, извлечения ценных компонентов, теплоэнергетики, курортно-санаторного дела и др.); несколько реже — как вредный фактор, осложняющий условия строительства инженерных сооружений и использование других минерально-сырьевых ресурсов и вызывающий необходимость их удаления или регулирования (водопонижение для различных видов строительства, сельскохозяйственного использования земель, разработки месторождений полезных ископаемых и т. п.). Подземная вода может рассматриваться и как источник информации в историко-геологическом аспекте (при изучении условий формирования различных месторождений полезных ископаемых, при гидрогеохимических поисках, оценке геологической роли воды и т. п.) и т. д.

При этом, естественно, приемы изучения подземных вод, структура, объемы, стадийность и методика проведения гидрогеологических исследований будут разными, так как они предопределяются главным образом характером и масштабами решаемых задач, составом необходимой для их решения гидрогеологической информации, а также степенью изученности и сложности гидрогеологических условий. Однако во всех случаях комплекс предусмотренных к проведению гидрогеологических исследований должен обеспечить достоверное изучение гидрогеологических условий и дать надежную основу для проведения обоснованных количественных оценок и прогнозов в соответствии со спецификой и требованиями решаемой задачи, а сам процесс проектируемых исследований должен отвечать установленным общим принципам их проведения и требованиям действующих инструкций и положений.

§ 1. Понятие о месторождениях подземных вод и особенностях их изучения

Выступая в 1931 г. на Первом всесоюзном гидрогеологическом съезде, крупнейший советский геолог президент АН СССР акад. А. П. Карпинский сказал: «Вода — это самое драгоценное ископаемое. Вода — это не просто минеральное сырье, это не только средство для развития сельского хозяйства, вода — это действенный проводник культуры, это та живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было». Глубокий смысл и правдивость этого определения подтверждены самой жизнью. На наших глазах в условиях величайшей научно-технической революции, интенсивного развития всех сфер общественного производства и бурного роста населения земного шара водные ресурсы становятся фактором, влияющим на размещение производительных сил и экономическое развитие стран и целых континентов.

Важнейшей составляющей частью водных ресурсов являются подземные воды, которые в благоприятных геолого-структурных условиях образуют скопления этого наиболее драгоценного полезного ископаемого. Участки геологических структур, где концентрируются значительные ресурсы подземных вод, пригодных для народно-хозяйственного использования, Г. Н. Каменский предложил называть по аналогии с другими видами полезных ископаемых «водными месторождениями» [7]. В дальнейшем учение о месторождениях подземных вод развивали А. М. Овчинников и Н. А. Плотников, С. С. Бондаренко, Н. И. Плотников, Л. С. Язвин и другие исследователи. Тем не менее даже в трактовке такого основополагающего термина, как «месторождение подземных вод», у многих авторов нет единства, что свидетельствует о необходимости дальнейшего развития учения о месторождениях подземных вод.

В новой инструкции ГКЗ по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод [6] под месторождением подземных вод предлагается понимать пространственно-ограниченную часть водоносной системы, в пределах которой под влиянием естественных или искусственных факторов создаются благоприятные по сравнению с окружающими площадями условия для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целевого использования их в народном хозяйстве. Подобная формулировка сужает понятие месторождения, сводя его к понятию эксплуатационного участка.

Обобщая определения термина «месторождение подземных вод», можно предложить следующую его формулировку: *месторождения подземных вод — это участки верхней части земной коры, в пределах которых под влиянием естественных и искусственных факторов создаются условия для отбора подземных вод, в количественном и качественном отношении обеспечивающие экономически целесообразное их использование в народном хозяйстве*

ве. Как следует из определения, месторождения подземных вод могут быть *естественными* (формирование их происходит под влиянием естественных природных факторов) и *искусственными* (накопление подземных вод происходит под влиянием искусственных мероприятий). Искусственные месторождения подземных вод могут быть созданы в благоприятных геолого-структурных и литологических условиях за счет искусственного перевода части поверхностного стока в подземный или же за счет утечек и фильтрационных потерь из систем водоснабжения, каналов, водохранилищ и т. д.

Приведенное определение представляется справедливым для любых типов подземных вод (пресных, минеральных, промышленных и термальных), поскольку наряду с аспектами количественной оценки и экономической целесообразности народнохозяйственного использования подземных вод в нем содержится и аспект качественной оценки воды как полезного ископаемого (т. е. предполагается соответствие качества подземных вод установленным кондиционным требованиям).

Подземные воды как полезное ископаемое получили официальное признание лишь в 50-х годах текущего столетия, когда исследования по их поискам и разведке стали проводиться в государственном масштабе, а эксплуатационные запасы начали утверждаться в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ).

Месторождения подземных вод, особенно минеральных, промышленных и термальных, имеют много общего с месторождениями любых других полезных ископаемых (как нефтяных и газовых, так и твердых), но вместе с тем обладают некоторыми специфическими характеристиками, которые связаны с особенностями подземных вод как полезного ископаемого. Так же, как и месторождения других видов полезных ископаемых, они имеют свои контуры в плане и разрезе (границы), определенные объемы скоплений полезного ископаемого, специфические закономерности их формирования и распространения, общность понятий запасов полезного ископаемого и т. д. Общность понятия «запас» для твердых полезных ископаемых и воды заключается, по Н. Н. Биндеману в следующем: объем (масса) гравитационной воды, как и масса твердого полезного ископаемого, выражает их запасы; объем водоносного пласта аналогичен объему рудосодержащих пород; коэффициент водоотдачи — содержанию руды в породе; состав подземных вод — составу руды.

Границы месторождений подземных вод сравнительно легко устанавливаются для минеральных, промышленных и термальных вод, когда контуры распространения полезного ископаемого определяются на основе учета кондиционных требований, предъявляемых к качеству соответственно минеральных, промышленных или термальных вод (по величине содержания промышленных или биологически активных компонентов или по температуре).

Для пресных подземных вод вопрос о границах месторождений является дискуссионным. По-видимому, было бы правильным для большинства месторождений, за исключением тех, границы которых предопределяются распространением подземных вод соответствующего качества, считать контуры месторождения совпадающими с границами области фильтрации, так как именно границы области фильтрации, их характер и присущие им граничные условия определяют промышленную ценность любого месторождения подземных вод.

Участки месторождений подземных вод, обеспечивающие рациональные в технико-экономическом отношении условия эксплуатации размещаемых в их пределах водозаборных сооружений, называются *эксплуатационными*. В пределах месторождения может быть один или несколько эксплуатационных участков, перспективных для размещения водозаборных сооружений. Промышленная оценка месторождения всегда осуществляется применительно к его эксплуатации на разведанных конкретных перспективных площадях (участках).

Специфические особенности месторождений подземных вод предопределены такими их свойствами, как подвижность, способность к возобновлению запасов, видами их народнохозяйственного использования и заключаются в следующем. В силу исключительной динамичности подземные воды быстро воспринимают влияние окружающей среды (на месторождения твердых полезных ископаемых влияние внешней среды проявляется крайне медленно и практически может не учитываться). Влияние внешней среды воспринимается месторождениями подземных вод через границы области фильтрации и через них же месторождения оказывают влияние на внешнюю среду. Степень и характер такого взаимовлияния зависят от границ области фильтрации и проявляющихся на них граничных условий.

Влияние внешней среды при этом проявляется в изменениях положения уровня подземных вод, качества и величины их запасов, в обеспечении условий возобновляемости срабатываемых запасов. Возобновляемость запасов подземных вод, особенно свойственная месторождениям пресных вод, является одним из самых специфических их проявлений. В отличие от месторождений твердых полезных ископаемых, запасы которых неуклонно уменьшаются по мере их извлечения, срабатываемые естественные запасы подземных вод имеют свойство непрерывно возобновляться за счет естественных ресурсов. При этом естественные ресурсы подземных вод (восполнение) при эксплуатации не только не уменьшаются, но на многих площадях даже увеличиваются (за счет привлечения поверхностных вод, сокращения величины испарения подземных вод, перетоков из смежных в разрезе водоносных горизонтов), обеспечивая стабильные условия работы действующих водозаборов.

Таким образом, характер граничных условий области фильтра-

ции предопределяет величину и степень возобновляемости отбираемых в процессе эксплуатации запасов подземных вод, а следовательно, и общую промышленную ценность месторождения. Отсюда следует, что одной из важнейших задач изучения месторождений подземных вод является выявление границ области фильтрации и характера соответствующих им граничных условий. При этом чрезвычайно важно установить факторы, оказывающие влияние на изучаемое месторождение, оценить степень и характер их влияния на величину и качественный состав эксплуатационных запасов подземных вод, обосновать возможные их изменения и оценить последствия этих изменений в процессе эксплуатации месторождения, обеспечить разработку и осуществление мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от загрязнения и истощения.

Способность месторождений подземных вод реагировать на изменения внешней среды широко используется для осуществления искусственного регулирования их запасов, пополнения или интенсификации их отбора в процессе эксплуатации.

Важнейшим показателем, определяющим промышленную ценность месторождения подземных вод в процессе эксплуатации, является величина их эксплуатационных запасов, которая в отличие от месторождений твердых полезных ископаемых характеризует не общее количество установленного в пределах месторождения полезного ископаемого, а возможный отбор воды (в м³/сут), обеспечиваемый в течение всего расчетного срока эксплуатации месторождения. В силу отмеченных специфических особенностей месторождений подземных вод возможный отбор воды (эксплуатационные запасы) обеспечивается за счет: а) сработки естественных и искусственно создаваемых запасов; б) поступления естественных и искусственно обеспечиваемых ресурсов; в) использования привлекаемых в процессе эксплуатации ресурсов. В условиях, когда величина привлекаемых в процессе эксплуатации водных ресурсов оказывается близкой к расходу водозабора, движение подземных вод стабилизируется и эксплуатационные запасы подземных вод оказываются обеспеченными на неограниченный по времени срок. В соответствии с этим при разведке месторождений подземных вод чрезвычайно важно установить источники формирования их эксплуатационных запасов и оценить степень и активность их влияния на условия работы инженерных сооружений.

Важной специфической особенностью месторождений подземных вод является также зависимость их эксплуатационных запасов от фильтрационных и емкостных свойств водовмещающих отложений (водопроницаемости, водоотдачи), что требует обязательного определения этих показателей, выявления их изменчивости в пределах области фильтрации, оценки их влияния на условия работы инженерных сооружений.

К другим специфическим особенностям месторождений подземных вод, которые необходимо учитывать при их поисках, раз-

ведке и количественной оценке, можно отнести: изменчивость границ месторождений в пространстве и во времени под влиянием естественных и искусственных факторов, взаимодействие инженерных сооружений (водозаборов и др.), расположенных на разных эксплуатационных участках одного и того же месторождения, и влияние этого взаимодействия на количественные и качественные показатели эксплуатационных запасов; многоцелевое использование подземных вод как полезного ископаемого и разнообразие требований к их качеству, незаменимость воды как полезного ископаемого.

В каждом конкретном случае гидрогеологические исследования должны быть выполнены с учетом природных условий изучаемого месторождения подземных вод и характера проявления его специфических особенностей применительно к решению поставленной задачи (водоснабжение, орошение, осушение, строительство и т. д.).

Общность месторождений подземных вод с месторождениями других полезных ископаемых дает основание для использования при их поисках и разведке принципов геологоразведочного дела [2]. Однако применение этих общих принципов требует творческого подхода и учета всех специфических особенностей подземных вод как своеобразного полезного ископаемого и как фактора, осложняющего инженерную деятельность человека.

§ 2. Общие принципы проведения гидрогеологических исследований

Основными задачами поисково-разведочных работ на подземные воды независимо от характера их народнохозяйственного использования и значения являются следующие: выявление условий формирования и распространения месторождений подземных вод; их геолого-структурных, гидродинамических, гидрогеохимических и других закономерностей и специфических проявлений; всестороннее изучение и оценка подземных вод либо как полезного ископаемого, либо как фактора, осложняющего осуществление других инженерных мероприятий; прогноз изменения гидрогеологических и других природных условий при эксплуатации подземных вод или их регулировании и удалении; обоснование и разработка системы мероприятий по наиболее комплексному и рациональному использованию в народном хозяйстве водных и других минерально-сырьевых ресурсов.

Все эти задачи в совокупности и определяют основные принципы и положения, которыми следует руководствоваться при проектировании и проведении гидрогеологических и других видов исследований по выявлению, изучению и оценке месторождений подземных вод. Несмотря на большое разнообразие природных условий месторождений подземных вод и решаемых при этом практических задач, в основу проведения поисково-разведочных работ на подземные воды могут быть положены, как уже отмечалось, общие принципы геологоразведочного дела, разработанные и внед-

ренные в практику геологоразведочных работ В. М. Крейтером.

Эти принципы, выработанные вековой практикой проведения геологоразведочных работ, базируются на геологических представлениях о закономерностях формирования и распределения различных типов месторождений полезных ископаемых и призваны способствовать наиболее полному и рациональному народнохозяйственному использованию всех природных ресурсов. На применимость этих принципов к поисково-разведочным работам на подземные воды указывал Г. Н. Каменский [7]. Рассмотрение отдельных принципов геологоразведочного процесса применительно к месторождениям подземных вод содержится в работах Н. И. Плотникова, В. А. Мироненко, И. К. Гавич, Л. С. Язвина [10, 11] и др.

К числу общих принципов, отражающих основы проведения геологоразведочных работ, предъявляемые к ним требования и объективные закономерности процесса познания, относятся следующие: 1) полноты исследований; 2) последовательных приближений; 3) равномерности изучения месторождений; 4) наименьших трудовых и материальных затрат; 5) наименьших затрат времени; 6) рационального и комплексного использования природных ресурсов.

В соответствии с этими принципами любое месторождение полезного ископаемого должно быть изучено возможно полнее и всесторонне, в определенной последовательности, более или менее равномерно, при минимально возможных затратах труда, времени и средств, в полном соответствии с принципом комплексного и рационального использования природных ресурсов.

Основные положения и требования этих принципов нашли достаточно полное отражение в «Основах земельного законодательства Союза ССР и союзных республик» (1967), «Основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик», (1970), «Основах законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» (1975), в соответствующих инструктивных материалах и в специальных решениях партии и правительства.

Принцип полноты исследования требует изучения с большей или меньшей степенью детальности всего месторождения в целом, а не только отдельных его участков, хотя бы и самых перспективных. Специфические особенности подземных вод, проявляющиеся в их высокой динамичности, гидравлическом единстве и способности реагировать на изменения внешней среды, делают этот принцип одним из самых важных и обуславливают необходимость изучения всей области фильтрации в ее естественных или искусственных границах. Более того, выявлению границ месторождения в плане и разрезе, изучению их характера и соответствующих им граничных условий должно уделяться особое внимание как основным факторам, предопределяющим степень восполнения эксплуатационных ресурсов месторождения и его промышленное значение в целом. Без надлежащего изучения всей области

фильтрации невозможна достоверная оценка эксплуатационных запасов как всего месторождения, так и применительно к его отдельным эксплуатационным участкам, так же как невозможны и обоснованные прогнозы изменения природных условий при оценке инженерной деятельности человека.

Требование полноты изученности, как уже отмечалось, относится ко всем границам, выделяющим область фильтрации как в плане, так и в разрезе. При этом в зависимости от предполагаемого метода количественной оценки месторождения и сложности его природных условий возможен несколько дифференцированный подход к изучению области фильтрации и ее границ. Например, при осуществлении прогнозов и количественных оценок с помощью моделирования требуется более обстоятельное изучение всех параметров области фильтрации, ее границ и граничных условий, чем при гидравлических или гидродинамических методах прогнозов. Тем не менее во всех случаях в результате изучения месторождения должны быть установлены его границы в плане и в разрезе, граничные условия и источники формирования его эксплуатационных запасов, основные гидродинамические параметры области фильтрации, естественные и искусственные факторы, определяющие качество подземных вод, условия их использования и некоторые специфические проявления, которые невозможно выявить без полного и всестороннего изучения месторождения. Выявлению основных факторов, подлежащих тщательному изучению, способствуют выполнение разведочных расчетов и моделирования, анализ чувствительности расчетных схем, используемых для прогнозов, факторно-диапазонный анализ и другие приемы.

Принцип полноты исследования включает также требование попутного изучения любых других полезных ископаемых, залегающих совместно с подземными водами, в целях повышения общей эффективности выполняемых поисково-разведочных работ и их геологической информативности. Требование попутного изучения наряду с основным и других полезных ископаемых обязательно и подтверждено в «Основах законодательства о недрах».

Нарушение требований принципа полноты исследования не обеспечивает соответствующей оценки прогнозных ресурсов всего месторождения и перспектив его дальнейшего народнохозяйственного использования, иногда приводит к необходимости повторной разведки или доразведки одного и того же месторождения, не дает возможности своевременно и правильно прогнозировать влияние проектируемых инженерных сооружений на природные условия и в конечном итоге приводит к непроизводительным затратам труда, времени и средств и недоброкачественному гидрогеологическому обоснованию проектных решений. Вместе с тем не следует понимать принцип полноты исследования как требование исчерпывающего изучения месторождения. Оптимальный объем необходимых исследований может быть установлен с помощью разведочных расчетов и имитационного моделирования, обеспечиваю-

щих возможность оценки влияния погрешностей выполняемых изысканий на достоверность прогнозов, и определения на этой основе целесообразных объемов исследований и их комплексирования, обеспечивающих требуемую достоверность прогнозов.

Принцип последовательных приближений заключается в постепенном наращивании знаний о месторождении по мере его последовательного изучения, поскольку получить за короткий срок все необходимые и достоверные сведения о месторождении практически невозможно. Принцип последовательных приближений вытекает из объективных закономерностей процесса познания. Он обеспечивает последовательное изучение особенностей и закономерностей месторождения по схеме «от общего к частному» и увеличение общей суммы и достоверности знаний по мере постепенной детализации изучения месторождения или отдельных его частей (эксплуатационных участков).

Наиболее яркое выражение принцип последовательных приближений находит в стадийности проведения геологоразведочных работ, которая, как правило, регламентируется действующими нормативно-законодательными актами и положениями (например, «Подразделение геологоразведочного процесса на стадии» и «Инструкция по планированию геологоразведочных работ»).

В соответствии с действующим положением в целях планомерного выявления ресурсов подземных вод и во избежание неоправданных затрат на проведение геологоразведочных работ с излишней детальностью или на объектах, не отвечающих целевому заданию, единый по своему характеру геологоразведочный процесс на подземные воды (пресные, минеральные, термальные, промышленные) делится на следующие стадии: 1) гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 200 000; 2) поиски; 3) предварительная разведка; 4) детальная разведка; 5) эксплуатационная разведка. Указанные стадии различаются назначением, содержанием и результатами проводимых работ. Результаты работ каждой предыдущей стадии являются основой для составления проекта работ последующей стадии.

Гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 200 000 проводится с целью планомерного общего гидрогеологического изучения территории страны. Основное назначение работ этой стадии — выяснение основных закономерностей формирования и распространения различных типов подземных вод, общая оценка водоносности изучаемой территории и условий существующего и возможного использования подземных вод. В результате съемочных работ составляются государственные гидрогеологические карты по листам принятой в СССР разграфки, а также комплекс дополнительных специальных карт, характеризующих закономерности формирования и распространения различных типов подземных вод и условий существующего и возможного их использования с выделением перспективных площадей и водоносных горизонтов (комплексов), рекомендуемых для дальнейших поисково-разведочных

работ. Для территорий, по которым ранее составленные карты масштаба 1 : 200 000 не отвечают современным требованиям, может предусматриваться доизучение гидрогеологических условий, обеспечивающее получение недостающей информации и составление необходимого комплекса карт.

Основным назначением работ на стадии поисков является общая оценка перспектив изучаемых территорий на выявление месторождений тех или иных типов подземных вод с региональной оценкой их эксплуатационных запасов и выделение водоносных горизонтов и участков для постановки дальнейших разведочных работ. Стадия поисков подразделяется на две подстадии: общие и детальные поиски.

Предварительная разведка ведется в пределах выявленных месторождений и их перспективных площадей. Ее цель — изучение их геолого-гидрогеологических особенностей, предварительная оценка эксплуатационных запасов подземных вод и обоснование целесообразности постановки детальных разведочных работ.

Детальная разведка проводится с целью получения необходимых данных для обоснования проекта строительства и эксплуатации будущего водозабора, уточнения величины эксплуатационных запасов и данных для промышленного освоения разведываемого месторождения.

Эксплуатационная разведка осуществляется в процессе строительства и эксплуатации водозаборных сооружений в целях контроля режима эксплуатации и обеспечения наиболее рациональных условий промышленного освоения эксплуатируемых месторождений. Если подземные воды изучаются не как полезное ископаемое, а как фактор, требующий их учета и регулирования при проектировании разнообразных инженерных сооружений, то гидрогеологические исследования (изыскания) проводятся с целью соответствующего обоснования проектируемых мероприятий. Последовательность их проведения определяется стадийностью проектирования инженерного сооружения.

В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 30 марта 1981 г. «О мерах по дальнейшему улучшению проектно-сметного дела» проектирование народнохозяйственных объектов осуществляется в одну или две стадии.

В простых природных условиях и при возможности использования типовых или повторных проектов проектирование объекта должно быть одностадийным: рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости его строительства. Проектирование крупных и сложных объектов в сложных природных условиях осуществляется в две стадии: проект со сводным сметным расчетом стоимости строительства и рабочая документация со сметами.

Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых выполняются в рамках стадийности, установленной для поисково-разведочных работ на данное полезное ископаемое. Стадийность гидрогеологических

исследований в каждом конкретном случае обосновывается в зависимости от сложности природных условий изучаемой территории, степени их изученности, крупности, важности и сложности проектируемого объекта или мероприятий и других факторов. В одних условиях (простой объект, опыт, хорошая изученность) возможно объединение отдельных стадий гидрогеологических исследований либо их исключение, в других — требуется полное и обязательное проведение гидрогеологических исследований по всем установленным стадиям, а иногда может возникнуть даже необходимость в дополнительных внестадийных исследованиях (уникальный объект, сложные условия, слабая изученность).

Более детальное рассмотрение стадийности проведения гидрогеологических исследований, их состава, методики выполнения и характера решаемых задач см. в последующих главах учебника.

Принцип равномерности изучения месторождений следует из необходимости более или менее равномерного освещения разведываемого месторождения, без чего невозможно получить правильное представление о геолого-структурных и гидродинамических особенностях месторождения, и гидрогеохимических, санитарных и технических условиях его эксплуатации, о характере неоднородности области фильтрации, условиях питания и других важнейших факторах, предопределяющих геолого-промышленную ценность месторождения и условия его народнохозяйственного освоения.

Принцип равномерности предусматривает более детальное исследование сложных частей месторождения (или эксплуатационного участка) характеризующихся резкой фильтрационной неоднородностью, изменением качества подземных вод, условий их питания или другими аномальными проявлениями, и менее детальные — простых его участков. В совокупности это обеспечивает примерно одинаковую достоверность изучения месторождения в целом. Этот принцип отнюдь не исключает и того положения, что с наибольшей детальностью должны быть изучены перспективные эксплуатационные участки месторождения (детализация их изучения осуществляется на последующих стадиях разведки месторождения с обязательным соблюдением принципа равномерности изучения самого эксплуатационного участка).

Таким образом, принцип равномерности предполагает соблюдение следующих основных требований: 1) равномерности освещения и изучения разведочными выработками всего месторождения или отдельных его участков на той или иной стадии их разведки, с учетом сложности изучаемого объекта; 2) относительно равномерного распределения пунктов опробования в пределах изучаемой площади с учетом необходимости выявления элементов сложности месторождения; 3) применения на разных участках месторождения технических средств, дающих соизмеримые результаты; 4) применения равнозначных и равноточных методов исследования и оценки подземных вод на площади месторождения.

Принцип наименьших трудовых и материальных затрат. Основное требование принципа заключается в том, чтобы на каждой из стадий изучения месторождения или его участка объемы выполняемых геологоразведочных работ и трудовые затраты были минимальными и вместе с тем обеспечивающими решение поставленных задач с необходимой степенью достоверности.

Соблюдение этого принципа предполагает творческий подход исследователя-гидрогеолога к выбору методов проведения гидрогеологических и других видов исследований подземных вод, определению наиболее рационального их комплекса, объемов и последовательности осуществления с учетом конкретных особенностей месторождения, специфики решаемых задач и состава необходимой для их решения гидрогеологической информации (качество и количество последней должны обеспечивать выполнение необходимых гидрогеологических прогнозов и оценок с заданной точностью и выбор на этой основе оптимальных проектных решений).

Решающая роль в осуществлении принципа наименьших трудовых и материальных затрат отводится выбору и обоснованию наиболее рационального в рассматриваемых природных и экономических условиях района комплекса исследований, обеспечивающего решение поставленной задачи при минимальных затратах труда, времени и средств. Под рациональным комплексом понимается не только обоснованный выбор видов и объемов исследований (гидрогеологических, буровых, геофизических, гидрометрических и др.), их целесообразного сочетания и распределения по площади объекта и во времени, но и определение наиболее эффективных форм организации работ и рациональной методики проведения отдельных видов исследований.

При обосновании рационального комплекса исследований чрезвычайно важно учитывать требования основных принципов оптимизации гидрогеологических исследований [11], особенно таких, как обратной связи, методологической обоснованности проектируемых работ и достижения требуемой достоверности информации. В частности, принцип обратной связи требует учета характера работы проектируемого инженерного сооружения и степени воздействия гидрогеологической обстановки на условия его работы при обосновании состава необходимой информации, ее достоверности, а также состава и методики проектируемых для ее получения исследований. В соответствии с принципом методологической обоснованности выбор и обоснование состава и методики проектируемых исследований должны увязываться с методами прогнозов и обоснований, которые будут выполняться на основе получаемой гидрогеологической информации. Достижение требуемой достоверности гидрогеологической информации должно осуществляться с учетом сложности гидрогеологических условий объекта, характера решаемой задачи и влияния исходной гидрогеологической информации на точность выполняемых на ее основе прогнозов и обоснований.

Задача выбора и обоснования наиболее рационального комплекса исследований решается обычно при составлении проекта геологоразведочных работ с широким использованием опыта ранее выполненных исследований, а также методов технико-экономической оценки, теории вероятности и теории информации, что, конечно, не исключает необходимости корректировки комплекса исследований в процессе их проведения с учетом получаемых результатов. Значительную роль в оптимизации гидрогеологических исследований играет внедрение в практику исследований разведочного и имитационного моделирования.

Немаловажное значение имеет и творческое отношение исследователя к выполнению запроектированных видов и объемов работ, правильное понимание требований и рекомендаций нормативных актов и инструктивных документов, в том числе и требований основных принципов проведения геологоразведочных работ и оптимизации гидрогеологических исследований.

Многому способствует новое положение в планировании геологоразведочных работ, предписывающее оценивать результаты поисков и разведки не по физическим объемам выполненных работ, а по их гидрогеологической эффективности (обеспечение необходимой геологической информации при заданной степени ее достоверности) и затратам на выполнение геологического задания.

Принцип наименьших затрат времени. Соблюдение настоящего принципа наряду с принципом наименьших трудовых и материальных затрат предопределяет высокую экономическую эффективность поисково-разведочных работ, т. е. обеспечение эффективного решения поставленных задач при минимальных затратах труда, времени и средств, и в этом плане эти принципы следует рассматривать совместно [10, 11].

Проведение поисково-разведочных работ в кратчайшие сроки является особо важным в условиях острого дефицита водных ресурсов либо при обеспечении ввода в действие важнейших народнохозяйственных объектов (промышленных, сельскохозяйственных, специальных и др.). Осуществлению этого принципа способствует в основном правильная организация выполнения рационального комплекса запроектированных исследований, их обоснованное сочетание и увязка во времени, обеспечение наиболее рациональных форм организации и проведения всех видов работ, начиная от составления программы или проекта исследований и кончая оформлением и представлением отчетных материалов.

Практика проведения поисково-разведочных работ на воду показывает, что в среднем для проведения полного комплекса исследований на месторождениях подземных вод (не считая исследований в период эксплуатации объекта) затрачивается от 3 до 5 лет. Однако нередко имеются возможности сокращения этого периода до 2—4 лет (совмещение стадий, комплексирование работ и др.).

Принцип рационального и комплексного использования природных ресурсов. Этот принцип вытекает из основ социалистической

формы хозяйства и отражает политику нашего государства в области рационального использования и охраны недр земли и других природных ресурсов. В частности, принцип рационального и комплексного освоения водных ресурсов нашел полное отражение в «Основах» водного законодательства и «Основах» законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах.

Рациональная эксплуатация водных ресурсов предполагает их всестороннее научно обоснованное использование в народном хозяйстве с наибольшим экономическим эффектом и пользой. Такое направленное освоение водных объектов является обязанностью всех водопотребителей. Требования обеспечения наибольшей экономической эффективности использования водных ресурсов и их охраны должны учитываться на всех стадиях проведения поисково-разведочных работ.

Комплексное использование водных ресурсов — это такое их использование, при котором находят экономически оправданное применение все их полезные свойства для удовлетворения разнообразных потребностей всех заинтересованных водопользователей. Например, пресные подземные воды могут эксплуатироваться комплексно для целей водоснабжения, обводнения и орошения; термальные минерализованные воды могут использоваться для теплофикации, теплоэнергетики, бальнеологии, извлечения промышленных компонентов, орошения и парниково-тепличного хозяйства; дренируемые при разработке месторождений полезных ископаемых подземные воды могут быть источником для орошения, промышленного извлечения полезных компонентов, заводнения нефтяных пластов и т. д.

Так как поверхностные воды взаимосвязаны с подземными, то изъятие определенной части подземного стока может затронуть интересы потребителей поверхностных вод. Это тоже должно учитываться при оценке водных ресурсов, планирования их потребления и определении экономической целесообразности их народнохозяйственного использования.

Точно так же эксплуатация одних месторождений подземных вод может отразиться на геологопромышленной ценности и целесообразности промышленного освоения других месторождений подземных вод (пресных, минеральных, промышленных, термальных).

Комплексное использование водных ресурсов отнюдь не означает равного удовлетворения всех потребителей в воде, однако планирование освоения водных ресурсов должно осуществляться с учетом требований всех заинтересованных предприятий. При эксплуатации только подземных вод в первую очередь (без каких-либо ограничений) должно быть обеспечено хозяйственно-питьевое водоснабжение, и только при наличии значительных эксплуатационных запасов подземных вод разрешается их расходование для других нужд.

Основой, обеспечивающей соблюдение принципа рационального и комплексного использования водных ресурсов, является планиро-

вание их использования, осуществляемое на базе специально составляемых схем комплексного освоения и охраны водных ресурсов. Схемы разрабатываются на основе всесторонней научно-технической и экономической оценки водных ресурсов, перспективных планов народного хозяйства и водохозяйственных балансов как для всей территории СССР или территорий союзных республик (генеральные схемы), так и для отдельных бассейнов или территорий экономических районов (бассейновые или территориальные схемы). Основными задачами таких схем являются: планирование использования ресурсов подземных и поверхностных вод для обеспечения развития народного хозяйства и удовлетворение потребностей населения в воде; исключение возможности возникновения диспропорции между потребностью в воде и реальной возможностью удовлетворения такой потребности; недопущение загрязнения, засорения и истощения ресурсов природных вод; оценка возможного влияния крупнейших водохозяйственных мероприятий на изменение природных условий; обоснование наиболее рациональных путей эксплуатации водных ресурсов.

В нашей стране составлена Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР на период до 2000 г, разрабатывается Долгосрочная государственная программа охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СССР на тринадцатую пятилетку и на перспективу до 2005 года, готовится новый закон СССР об охране природы. В целях осуществления природоохранной деятельности в стране создан Государственный комитет СССР по охране природы, который является центральным органом государственного управления в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов и на который, в частности, возложен государственный контроль за использованием и охраной подземных и поверхностных вод. В условиях перевода предприятий на принципы полного хозяйственного расчета и самофинансирования предполагается переход к преимущественно экономическим методам управления природоохранной деятельностью, чему в частности будет способствовать введение экономических нормативов платы за природные ресурсы, а также за выбросы загрязнений в природную среду.

Все указанные мероприятия должны способствовать рациональному и комплексному использованию водных и других природных ресурсов, а также рациональному размещению новых промышленных, энергетических, сельскохозяйственных и других крупных народнохозяйственных объектов в районах, где потребность таких объектов в воде может быть удовлетворена с наибольшим техническим и экономическим эффектом и в максимальной степени с учетом комплексного, а не узкоотраслевого потребления водных ресурсов.

Принцип рационального и комплексного использования природных ресурсов включает как обязательное требование о необходимости учета и оценки влияния условий эксплуатации одних полезных ископаемых на другие и обеспечения условий рационального осво-

ения всех природных ресурсов (водных, земельных, минерально-сырьевых и др.). Это требование следует прежде всего учитывать при планировании проведения поисково-разведочных работ и при геолого-промышленной оценке любых месторождений полезных ископаемых.

Охарактеризованные общие принципы проведения гидрогеологических исследований и вытекающие из них требования следует в обязательном порядке учитывать при поисках, разведке и геолого-экономической оценке месторождений подземных вод. Однако эти принципы не догмы и применять их следует творчески и квалифицированно с учетом природных геологических и гидрогеологических закономерностей конкретных месторождений, характера и особенностей поставленных задач и технико-экономических условий промышленного освоения разведываемых месторождений. Неправильное применение или сочетание принципов проведения геологоразведочных работ, необоснованные отклонения от их требований чреваты серьезными последствиями, находящими свое выражение в составлении и осуществлении необоснованных проектных решений, в излишних затратах времени, труда и материальных средств, в нерациональном использовании водных, земельных и других природных ресурсов, в непредвиденных отрицательных воздействиях инженерных сооружений на окружающую среду.

§ 3. Виды и методы получения и обработки гидрогеологической информации

В современной гидрогеологии развиваются тенденции использования системного подхода при изучении и оценке гидрогеологических объектов и процессов [5, 11]. При этом объекты гидрогеологического изучения (гидрогеологические бассейны и массивы, месторождения подземных вод и их участки, водоносные комплексы и горизонты, пласты и слои) рассматриваются как единые и целостные гидрогеологические системы разного порядка, характеризующиеся свойственными им структурами слагающих их элементов, типом внутренних и внешних связей этих элементов и определенными показателями их свойств.

Так, например, если месторождение подземных вод рассматривается как гидрогеологическая система, то в качестве слагающих ее элементов выступают водоносные горизонты и разделяющие их водоупоры; их форма и размеры, условия залегания, распространения и их соотношение характеризуют структуру системы; взаимодействие водоносных горизонтов между собой — это внутренние связи системы, а их взаимодействие с внешней средой и соседними гидрогеологическими объектами — внешние связи системы; свойства горных пород и содержащихся в них подземных вод (фильтрационные и емкостные свойства пород, плотность, вязкость и минерализация вод и т. д.), выражаемые в виде количественных или качественных показателей, являются показателями свойств гидрогеологической

системы (количественными показателями таких свойств являются гидрогеологические параметры). При таком подходе основной целью гидрогеологических исследований, выполняемых при изучении гидрогеологического объекта как системы, является получение достоверной гидрогеологической информации о его свойствах, структуре и присущих ему внутренних и внешних связях и процессах, необходимой для правильного, научно обоснованного решения поставленных задач при минимальных затратах труда, времени и средств.

Выше (см. § 1 и 2) уже рассматривались основные вопросы изучения месторождений подземных вод как гидрогеологических объектов (систем) и получения необходимой информации. Было, в частности, показано, что гидрогеологические объекты являются открытыми системами, что требует не только изучения их внутренних связей и процессов, но и прогноза изменений этих связей и процессов под влиянием естественных и искусственных факторов (особенно внешних).

Для эффективного решения поставленных гидрогеологических задач очень важно правильно установить объект исследований, его пространственное положение, структуру и связи, а также объем необходимой гидрогеологической информации и степень ее достоверности, что в свою очередь определяет состав и методы предусматриваемых для изучения объекта гидрогеологических исследований.

В общем случае понятие «гидрогеологическая информация» включает совокупность данных, характеризующих условия формирования, залегания, распространения, питания, движения и разгрузки подземных вод в пределах изучаемого объекта, состав, качество и свойства подземных вод и водоносных пород; форму и характер границ объекта и свойственных им граничных условий, характер и степень влияния на объект и протекающие в нем процессы естественных и искусственных факторов. Естественно, что при этом в состав гидрогеологической информации помимо собственно гидрогеологических данных могут включаться данные геологического, гидрогеологического, геоморфологического, структурно-тектонического, физико-географического, технического и другого плана как определяющие показатели гидрогеологических условий и технико-экономические показатели строительства и эксплуатации проектируемых инженерных сооружений.

Конкретный состав и полнота необходимой гидрогеологической информации устанавливаются в зависимости от типа решаемой задачи, методов ее решения, сложности и степени изученности геолого-гидрогеологических условий объекта, стадии исследований и других факторов. При этом руководствуются действующими методическими руководствами и инструкциями, требованиями практики и общих принципов организации и проведения гидрогеологических работ, опытом ранее выполненных исследований и собственной интуицией, основанной на правильном понимании природной обстановки и требований поставленных перед исследованиями задач.

В результате выполнения гидрогеологических исследований получают обычно не обобщенную или частично обобщенную первичную гидрогеологическую информацию, которая может быть априорной (данные ранее выполненных исследований) или оперативной (данные, получаемые непосредственно в процессе гидрогеологических исследований). Первичная гидрогеологическая информация, представленная в виде результатов отдельных замеров, наблюдений, опробований, анализов, накапливается и подвергается затем обработке (систематизации, группировке, определению обобщенных показателей, классификации, построению графиков, таблиц, разрезов, карт и т. д.), в результате чего преобразуется во вторичную информацию, используемую при последующих прогнозах, оценках и обоснованиях. Накопление информации осуществляется с помощью различных форм документации выполняемых исследований (полевые книжки, журналы, дневники, таблицы, графики, разрезы, карты) и на основе использования различных информационно-поисковых систем (от простейших каталогов и перфокарт до автоматизированных систем учета информации). Методы обработки гидрогеологической информации выбираются в зависимости от ее количества, качества и предъявляемых к ней требований (точность, достоверность, представительность). Наиболее часто практикуются гидрогеологические методы, основанные на использовании геолого-генетических подходов (таблицы, графики, разрезы, карты, объемные блок-схемы), а также методы математической обработки информации (вероятностно-статистические и математического детерминированного анализа, в том числе с использованием АВМ и ЭВМ). Приемы обработки гидрогеологической информации детально рассмотрены в работе [5].

Таким образом с позиций информатики основной целью проектируемых гидрогеологических и других исследований является информационное обеспечение выполняемых на основе получаемой информации гидрогеологических оценок прогнозов и обоснований. В общем случае они должны обеспечивать получение рационального комплекса гидрогеологической информации, достаточного для выполнения гидрогеологических прогнозов с заданной точностью и обоснования проектных решений. С учетом этого положения и следует подходить к обоснованию состава и достоверности необходимой для осуществления прогнозов гидрогеологической информации и, соответственно, к обоснованию видов и объемов, обеспечивающих получение этой информации гидрогеологических и других исследований, их структуре, временному и пространственному распределению, выбору методов проведения отдельных видов исследований и обработки их результатов.

Эффективной реализации задач получения необходимой гидрогеологической информации способствует, как уже отмечалось, творческое применение общих принципов геологоразведочного процесса и принципов оптимизации при обосновании структуры и рационального комплекса гидрогеологических исследований.

§ 4. Основные виды и структура гидрогеологических исследований

Виды и структура гидрогеологических исследований при изучении подземных вод определяются в зависимости от характера, масштабов и специфики решаемых задач, состава и качества необходимой гидрогеологической информации, сложности и степени изученности природных условий изучаемых месторождений, стадии и конкретных технико-экономических показателей осуществления проектируемых исследований. Практически во всех случаях изучение подземных вод представляет собой сложное комплексное исследование, включающее различные виды не только гидрогеологических, но и других работ.

К основным видам гидрогеологических исследований относятся следующие: 1) сбор, обобщение и целенаправленный анализ материалов предыдущих исследований; 2) рекогносцировочные гидрогеологические исследования; 3) гидрогеологические съемки и картирование; 4) буровые и горные работы; 5) полевые опытно-фильтрационные работы (откачки, наливов, нагнетания, экспресс-методы и т. д.); 6) моделирование фильтрации подземных вод; 7) лабораторные работы; 8) наблюдения за режимом подземных вод.

Перечисленные виды гидрогеологических исследований позволяют решить основные задачи по изучению месторождений подземных вод. Однако для обеспечения более успешного и эффективного решения поставленных задач и повышения геологической и экономической эффективности основных видов гидрогеологических исследований в комплексе с ними широко применяются различные виды геофизических исследований как наземных (площадные исследования с поверхности, профилирование, околоскважинные исследования), так и скважинных (комплекс различных видов каротажных исследований в скважинах). Применение геофизических исследований оказывается целесообразным на всех стадиях поисков и разведки подземных вод, и поэтому в последние годы они рассматриваются как неотъемлемая составная часть общего комплекса поисково-разведочных гидрогеологических работ, хотя в отдельных случаях геофизические исследования могут иметь самостоятельное значение.

При решении отдельных гидрогеологических задач (выявление и оценка взаимосвязи подземных и поверхностных вод, обоснование мероприятий по защите подземных вод от загрязнения, выявление гидрогеологической роли тектонических нарушений, определение возраста воды, изучение процессов тепло-массопереноса и др.) может возникнуть необходимость в балансово-гидрометрических и гидрологических работах, а также специальных методах исследований (гидрогеохимических, изотопных, индикаторных, ядерно-физических, палеогидрогеологических, аэроландшафтных, геоботанических, космических и др.).

Для топографического обеспечения комплекса поисково-разведочных гидрогеологических работ выполняются в необходимом объеме топогеодезические работы.

Обоснование видов и объемов необходимых исследований, определение наиболее рационального их сочетания (структуры), последовательности осуществления и рациональных форм организации их проведения с учетом конкретных особенностей изучаемого района, специфики решаемых задач и требований общих принципов поисково-разведочных работ и принципов их оптимизации, использование в процессе планирования и проведения гидрогеологических исследований разведочного моделирования, оперативный контроль результатов исследований и внесение необходимых корректив в методику их проведения — все это важнейшие задачи методики гидрогеологических исследований и составные звенья проблемы выбора, обоснования и осуществления рационального комплекса гидрогеологических и других видов исследований.

Решение этих задач требует оценки и учета многих факторов: геологической информативности и экономической эффективности отдельных видов и методов исследований в условиях изучаемого района, технических возможностей осуществления отдельных видов и комплексов исследований, достоверности получаемых результатов, требований и рекомендаций нормативных актов и инструктивных документов, опыта выполненных в аналогичных условиях работ, требований и основных показателей геологического задания, стоимостных и других показателей по конкурирующим комплексам проектируемых исследований, специфики решаемых народнохозяйственных задач и особенностей природных условий изучаемого района, форм и трудоемкости текущей и окончательной камеральной отчетности и многих других.

Для определения рациональной структуры намечаемых к проведению исследований и оценки их экономической эффективности наряду с качественными сопоставлениями в процессе составления проекта исследований необходимо шире использовать математические методы и методы технико-экономической оценки возможных вариантов осуществления исследований на той или иной стадии их проведения вплоть до применения ЭВМ и АВМ. Особенно эффективным является использование имитационного моделирования, которое позволяет оценивать степень влияния гидрогеологических факторов на технико-экономические показатели строительства и эксплуатации проектируемых инженерных сооружений, выявить ведущие факторы, определить необходимую и возможную точность и детальность их изучения и на этой основе осуществить выбор необходимых для решения поставленных задач видов исследований, их объемов, оптимального их сочетания, пространственно-временного распределения и методики их проведения. Для повышения разрешающей способности имитационного моделирования при оптимизации гидрогеологических исследований целесообразно использовать

методы теории информации, принятия решений, группового учета аргументов и др. [11].

Соответствующие методические рекомендации по применению различных видов исследований, их оптимальной структуре, объемам, методике и последовательности проведения излагаются в различного рода инструкциях, методических руководствах, справочниках, нормах, указаниях. Примеры обоснования рационального комплекса исследований при проведении поисково-разведочных работ на подземные воды приведены в работах [10, 11 и др].

§ 5. Планирование гидрогеологических исследований

Природные минеральные ресурсы, в том числе и ресурсы подземных вод, в нашей стране являются общенародным достоянием, и поэтому их разведка, использование и охрана осуществляются планомерно в государственном масштабе. Планирование геологоразведочных работ основывается на общих принципах народнохозяйственного планирования, а сводный план геологоразведочных работ является частью народнохозяйственного плана. Начиная с 1974 г. разрабатываются годовые и перспективные планы по рациональному использованию природных ресурсов и охране природы как составные части годовых и перспективных планов развития народного хозяйства.

При планировании геологоразведочных работ (в том числе и гидрогеологических исследований) исходят из необходимости дальнейшего увеличения минерально-сырьевых ресурсов страны, повышения их качества и улучшения географического размещения с целью обеспечения соответствующих отраслей промышленности и главным образом действующих предприятий эксплуатационными запасами полезных ископаемых и рационального размещения новых промышленных, энергетических, сельскохозяйственных, горнодобывающих и других крупных народнохозяйственных объектов в районах, где потребность таких объектов в воде и других минерально-сырьевых ресурсах может быть удовлетворена с наибольшим народнохозяйственным эффектом.

Эффективному решению задач планомерного выявления, оценки, рационального использования и охраны водных ресурсов способствуют составляемые в нашей стране схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Как уже отмечалось выше (см. § 2); эти схемы разрабатываются на основе всесторонней оценки водных ресурсов, пресективных планов народного хозяйства и водохозяйственных балансов и в свою очередь используются для составления научно обоснованных перспективных и текущих планов поисково-разведочных гидрогеологических работ и других исследований.

В нашей стране осуществляется единая геологическая и техническая политика в области планирования и проведения поисково-разведочных гидрогеологических работ, обеспечения народного хо-

зайства водными ресурсами и государственного учета их использования. Успешному осуществлению этой политики способствует ведение Государственного водного кадастра (ГВК), который осуществляет государственный учет состояния и использования различных водных объектов (включает подсистемы «Поверхностные воды», «Подземные воды», «Использование вод»). Ведение ГВК по разделу «Подземные воды» осуществляется специальными органами Министерства геологии СССР, его республиканских и территориальных подразделений (всесоюзным центром является Отделение ГВК при ВСЕГИНГЕО). В их функции входит сбор, обработка, накопление и хранение данных о водных объектах, ресурсах, режиме и качестве подземных вод по гидрогеологическим регионам, речным бассейнам, экономическим районам, союзным республикам и стране в целом, а также информационное обеспечение всех заинтересованных организаций и учреждений данными ГВК, включая информационное обеспечение гидрогеологических работ и их планирования. В качестве водных объектов в ГВК «Подземные воды» рассматриваются бассейны подземных вод, водоносные горизонты и месторождения подземных вод, перечень которых постоянно обновляется по мере выполнения гидрогеологических исследований и получения новой информации.

Планирование геологоразведочных работ на подземные воды, как и на другие полезные ископаемые, осуществляется по единой для всех геологических организаций системе, определенной «Инструкцией по планированию геологоразведочных работ», утвержденной Министерством геологии СССР. В инструкции учтены условия перевода геологических организаций на новую систему планирования и экономического стимулирования, она является обязательной для всех организаций, осуществляющих геологоразведочные работы на все виды полезных ископаемых, независимо от источника финансирования.

В текущих и перспективных планах геологоразведочных работ, рассматриваемых и разрабатываемых как неотъемлемые составные части соответствующих народнохозяйственных планов, поисково-разведочные работы на подземные воды, как на полезные ископаемые, предусматриваются по разделу «Гидрогеологические и инженерно-геологические работы». Сюда обычно входят работы по поискам, разведке и геолого-промышленной оценке месторождений пресных, минеральных, промышленных и термальных подземных вод, региональное гидрогеологическое изучение территории СССР и ее отдельных регионов, изучение баланса и режима подземных вод и его прогнозирование, гидрогеологические исследования в связи с орошением, осушением и обводнением земель, работы по осуществлению контроля и учета за использованием подземных вод и их охраной от загрязнения и истощения и некоторые другие виды работ и исследований. Основной объем ассигнований по этому разделу (до 50%) приходится на поисково-разведочные работы для целей водоснабжения.

Гидрогеологические исследования планируются и при проведении поисково-разведочных работ на другие виды твердых и жидких полезных ископаемых с целью изучения и оценки гидрогеологических и инженерно-геологических условий их разведки и разработки (раздел «Поисковые и разведочные работы»), а также при осуществлении тематических научно-исследовательских работ по решению специальных геолого-гидрогеологических задач, разработке и совершенствованию технических средств и новых методов исследования и других опытно-методических работ.

Для обеспечения максимальной геологической и экономической эффективности поисково-разведочных работ на подземные воды планами предусматривается поэтапное последовательное их проведение, о чем уже говорилось при рассмотрении общих принципов осуществления гидрогеологических исследований.

Региональные гидрогеологические работы (1-я стадия) планируются с целью систематического геолого-гидрогеологического изучения территории СССР и отдельных ее регионов, выявления общих закономерностей СССР и отдельных ее регионов, выявление общих закономерностей формирования подземных вод и распространения водоносных горизонтов (комплексов), осуществления общей оценки прогнозных ресурсов подземных вод и выделения перспективных для дальнейших поисково-разведочных работ гидрогеологических структур и площадей. Региональное гидрогеологическое изучение территории осуществляется путем проведения комплексных гидрогеологических съемок масштаба 1 : 200 000 и крупнее. Результаты изучения используются в дальнейшем для текущего и перспективного планирования поисково-разведочных на подземные воды работ, для различного рода районирования территорий, обоснования возможности осуществления инженерных мелиораций и других водохозяйственных мероприятий.

При планировании собственно поисково-разведочных работ на подземные воды как на полезные ископаемые гидрогеологические исследования предусматривается осуществлять в четыре стадии: поиски, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка. Следует подчеркнуть, что эксплуатационная разведка планируется и осуществляется в рамках деятельности предприятия, эксплуатирующего водозаборные сооружения.

В планах виды и объемы геологоразведочных работ устанавливаются соответственно на пресные, минеральные, промышленные и термальные воды по стадиям их проведения. Геологоразведочные работы на каждой стадии планируются с учетом необходимости проведения всего комплекса исследований, обеспечивающего эффективное выполнение поставленной задачи на том или ином объекте.

В показателях плана гидрогеологических исследований учитываются количество утверждаемых в ГКЗ СССР эксплуатационных запасов подземных вод, прирост эксплуатационных запасов по конкретным объектам, сроки представления отчетности в ГКЗ СССР

и соответствующие фонды, площади гидрогеологических и геофизических съемок по масштабам, объемы геологоразведочных работ по источникам финансирования и другие аспекты проектируемых на конкретных объектах гидрогеологических работ.

В качестве объектов для выполнения гидрогеологических исследований в планах геологоразведочных работ рассматриваются: гидрогеологические структуры, регионы или их части; месторождения подземных вод или их эксплуатационные участки; площади проведения гидрогеологических, инженерно-геологических, геофизических и других работ специального назначения; месторождения полезных ископаемых или их участки; массивы орошения и осушения; строительные площадки, балансовые участки.

Выбор объектов для проведения работ на каждой стадии проводится с учетом результатов, полученных на предыдущих стадиях, экономической целесообразности постановки или продолжения этих работ и заданий пятилетних планов. Пространственные границы объектов устанавливаются с учетом геолого-структурных, гидрогеологических, географо-экономических и других факторов.

Для выполнения предусмотренных планом на той или иной стадии гидрогеологических исследований и других видов работ по отдельным объектам разрабатываются и выдаются соответствующим исполнителям *геологические задания*.

Геологическое задание на объект разрабатывается с полнотой и конкретностью, обеспечивающими возможность составления рационального проекта исследований и оценки его выполнения в количественном и качественном отношениях. Оно является документом, определяющим задачи по изучению этого объекта современными методами и техническими средствами на той или иной стадии гидрогеологических исследований, и служит основанием для разработки единой на этот объект проектно-сметной документации.

Геологические задания выдаются объединениями, управлениями и трестами подчиненным экспедициям и партиям на основе пятилетних планов геологоразведочных работ и генеральных программ их проведения, утвержденных вышестоящей организацией, и с максимальным учетом накопленного опыта ведения гидрогеологических и других видов исследований в условиях конкретного геолого-экономического района и аналогичных объектов.

В геологическом задании должны быть четко сформулированы и определены: целевое назначение работ, границы объекта и требования к результатам его изучения; геолого-гидрогеологические задачи, последовательность и основные методы их решения; ожидаемые результаты, сроки выполнения задания, формы отчетности и другие условия и показатели выполнения проектируемых работ.

Для рациональной последовательности выполнения гидрогеологических исследований и усиления оперативного контроля за их ходом и результатами составляются поэтапные планы проведения работ. Этапом геологоразведочных работ на объекте является часть геологического задания, в результате завершения которой полно-

стью решается определенная по значению и гидрогеологическому содержанию частная задача (или несколько задач). Этапы выделяются с учетом обеспечения рациональной организации и проведения общего комплекса работ, эффективного и оперативного решения промежуточных задач и геологического задания в целом. Этапами общего комплекса разведочных гидрогеологических изысканий на отдельных стадиях могут быть: проектирование; геофизические площадные исследования; гидрогеологические съемочные, опытно-фильтрационные и специальные тематические работы; наблюдения за режимом; камеральная обработка материалов; составление технико-экономических обоснований; составление и сдача отчета и некоторые другие виды работ.

Поэтапный план разрабатывается после утверждения проектно-сметной документации на весь срок выполнения геологического задания в соответствии с предусмотренной проектом очередностью проведения работ на объекте по установленной форме [1,12].

Важнейшим звеном в планировании гидрогеологических исследований является составление проектно-сметной документации, включающей проект или программу поисково-разведочных работ и смету. Проект составляется единым на каждый объект, на срок, обеспечивающий полное выполнение геологического задания с учетом предусмотренной в нем очередности выполнения работ. Он служит основанием для определения сметной стоимости работ с использованием единичных сметных расценок, рассчитанных по нормам СУСН или укрупненным комплексным расценкам (УКР). Правильно составленный и обоснованный проект является залогом успешного проведения исследований и эффективного решения поставленных задач. Виды и объемы работ, предусматриваемых проектом, последовательность и методика их проведения назначаются с учетом геолого-гидрогеологических особенностей объекта, степени его изученности, характера и специфики решаемых задач, информативности и эффективности проектируемых исследований в условиях изучаемого объекта и обеспечения выполнения всех требований основных принципов геологоразведочного процесса. В целях повышения качества проектирования и упрощения операций по составлению проектно-сметной документации составление проектов на поиски и разведку пресных подземных вод осуществляется по специально разработанным макетам.

При составлении проекта желательна технико-экономическая оценка нескольких вариантов проведения исследований для обоснования наиболее рационального в конкретных условиях изучаемого объекта комплекса исследований. В проекте с достаточной для его обоснования полнотой должны быть последовательно освещены следующие вопросы: геологическое задание, географо-экономические условия проведения работ, обзор, анализ и оценка ранее проведенных работ, геологическая, гидрогеологическая и геофизическая характеристика района работ (с анализом влияния его особенностей на методику исследований); методика, объемы и условия

производства проектируемых работ (по видам), строительство временных зданий и сооружений; транспортировка грузов и персонала партии; мероприятия по охране окружающей среды; техника безопасности и охрана труда; ожидаемые результаты проектируемых работ. Графика к проекту оформляется согласно Инструкции о государственном учете результатов работ по геологическому изучению недр.

Установленное геологическое задание и утвержденная проектно-сметная документация используются для пообъектных планов геологоразведочных работ, которые составляются для геологических организаций всех уровней, находящихся на самостоятельном балансе (от полевых партий до ведомств и министерств). Пообъектные планы геологоразведочных работ содержат все необходимые сведения о видах и объемах предусмотренных к выполнению в текущем году исследований и основных их показателях, установленных геологическими заданиями. После утверждения пообъектные планы направляются в соответствующие плановые и финансовые учреждения и являются основными документами, на основе которых осуществляется, финансируется, оценивается и контролируется деятельность геологических организаций.

Аналогичным образом планируется и проведение гидрогеологических исследований для обоснования различных видов строительства (гражданского, промышленного, гидротехнического, мелиоративного и др.) и решения других народнохозяйственных задач. Эти исследования осуществляются в основном специализированными изыскательскими и геологическими организациями системы Госстроя СССР, Министерства геологии СССР и других ведомств на основе утвержденных геологических и технических заданий, с соблюдением изложенных принципов и положений.

§ 6. Эффективность гидрогеологических исследований

На проведение гидрогеологических исследований при решении различных народнохозяйственных задач расходуются значительные средства. Поэтому вопросы экономии материальных средств, рационального их расходования и повышения эффективности выполняемых исследований имеют большое народнохозяйственное значение.

Определение экономической эффективности гидрогеологических исследований необходимо на всех этапах, начиная от их планирования и кончая оценкой выполненных работ [1,12].

Общее требование к эффективности гидрогеологических исследований вытекает из основных принципов их проведения и заключается в обеспечении эффективного решения поставленных геолого-гидрогеологических задач при минимальных затратах труда, времени и средств. В значительной мере, как уже отмечалось ранее, это требование обеспечивается выбором и эффективным осуществлением рационального комплекса исследований. В более широком

аспекте сюда необходимо включать и вопросы наиболее эффективного планирования исследований, выбора объектов для изучения, использования достижений научно-технического прогресса и другие мероприятия.

Единой общепринятой методики определения экономической эффективности гидрогеологических исследований еще нет, однако содержание действующих методических разработок для геологоразведочных работ заслуживает определенного внимания [1—4, 8, 12].

Обычно различают отраслевую и народнохозяйственную экономическую эффективность геологоразведочных работ. Отраслевая экономическая эффективность определяется на отдельных стадиях проведения исследований и характеризуется объемами и качеством выполнения геологических заданий, затратами на проведение различных видов работ, достоверностью получаемых результатов и другими показателями. Народнохозяйственная экономическая эффективность определяет конечный результат, получаемый обществом от проведения геологоразведочных работ на том или ином объекте. Она устанавливается с помощью системы показателей, выражаемых абсолютными или относительными величинами (количество и качество оцененных в пределах месторождения эксплуатационных запасов подземных вод, стоимость разведанных запасов, соотношение затрат на разведку с прибылью, стоимостью запасов, капиталовложениями на их освоение и др.).

Для определения отраслевой и народнохозяйственной экономической эффективности правильнее использовать сумму показателей (стоимостных и натуральных): количество и качество установленных эксплуатационных запасов подземных вод, себестоимость разведки единицы эксплуатационных запасов, общие затраты на разведку и по видам исследований, себестоимость единицы геологоразведочных работ по их видам, прирост запасов на единицу затрат, потенциальная стоимость выявленных запасов и др. (в том числе производные от перечисленных показателей).

Себестоимость разведки единицы эксплуатационных запасов C_p может быть определена путем деления соответствующих затрат Z_p (съёмка, поиски и разведка) на суммарную величину утвержденных по категориям A , B и C_1 эксплуатационных запасов Q_2 (обычно, учитывая соотношение затрат на оценку запасов указанных категорий, принимают $Q_2 = Q_A + Q_B + 0,33Q_{C_1}$). Расчетная себестоимость разведки может сопоставляться с нормативной, плановой либо с себестоимостью разведки по аналогичным объектам. Она может также использоваться для определения других показателей народнохозяйственной эффективности гидрогеологических работ, например прибыли ($P = Ц - C_p$), рентабельности ($K_p = P / C_p$), синтезирующего показателя экономической эффективности $K_3 = (C - C_p) / C_p$ и др. В приведенных формулах $Ц$ — отпускная цена на подземные воды в районе работ.

Определенные трудности с использованием показателей экономической эффективности гидрогеологических исследований возникают

ввиду отсутствия установленных отпускных цен (тарифов) на подземные воды (на поверхностные воды такой тариф установлен с 1 января 1982 г.). В связи с этим заслуживают особого внимания предложения об использовании в практике работ нормативов предельной стоимости единицы геологического задания, т. е. дифференцированных по отдельным районам страны нормативных удельных затрат для различных видов работ и исследований [8]. Такими показателями могли бы быть: нормативные удельные затраты на $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ разведенных запасов различных категорий, на 1 км^2 гидрогеологической или комплексной гидрогеологической съемки различных масштабов и назначения, на обводнение 1 га пастбищ, на выполнение 1 пункт/мес режимных наблюдений и т. д. Определение нормативных удельных затрат возможно как на основе оценки сметной стоимости различных видов работ для типовых по условиям их проведения районов, так и на основе статистического анализа технико-экономических показателей ранее выполненных работ в типовых районах.

Использование нормативных удельных затрат дает возможность непосредственной увязки геологических заданий с выделяемыми на их выполнение ассигнованиями и определения экономической эффективности уже осуществленных (или проектируемых) гидрогеологических исследований на основе сопоставления фактических (или расчетных) удельных затрат с нормативными [8].

Опыт нормирования удельных затрат в виде районных расценок уже имеется в ряде производственных геологических организаций (ПГО) Министерства геологии СССР. В условиях полного хозрасчета и самофинансирования роль этих нормативов будет возрастать, а сами методы определения экономической эффективности гидрогеологических работ изменяться и совершенствоваться.

Детально сведения о приемах определения экономической эффективности геологоразведочных исследований изложены в работах многих авторов [1,3,8,12], некоторые из них иллюстрируются в последующих главах учебника, посвященных методике гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач.

При планировании гидрогеологических исследований и их осуществлении следует предусматривать и проводить мероприятия по повышению их геологической и экономической эффективности. В числе таких мероприятий следует отметить следующие:

1. Наиболее полное геологическое и технико-экономическое обоснование намечаемого к проведению комплекса гидрогеологических и других видов исследований с учетом конкретных природных особенностей объекта, целесообразности и возможности эффективного применения отдельных видов исследований и их комплексирования и других факторов (обоснование рационального комплекса исследований).

2. Широкое применение передовых методов гидрогеологических, геофизических и других исследований на основе глубокого познания

геолого-гидрогеологических особенностей объекта и использования опыта аналогичных исследований.

3. Внедрение основных достижений научно-технического прогресса в области техники и технологии геологоразведочных работ, научно-методических разработок, рациональных форм организации и проведения исследований, научной организации труда.

4. Разработка новых методов и технических средств проведения гидрогеологических и других видов исследований, совершенствование техники и технологии их осуществления.

5. Проведение целенаправленных разведочных работ под заранее установленную и наиболее рациональную схему проектируемого сооружения (водозабора, дренажа, оросительной или осушительной системы).

6. Разработка и осуществление различных организационно-технических мероприятий по обеспечению наиболее рациональных условий проведения исследований и снижению их себестоимости (сопоставление, научная организация труда и т. д.). Повышение эффективности работ за счет усиления воздействия хозяйственного механизма (широкое внедрение бригадного подряда, хозрасчет, режим экономии и т. п.).

ГЛАВА II

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

Залогом успешного проведения любых гидрогеологических исследований и эффективного решения поставленных перед ними задач является познание общих закономерностей геологического строения и гидрогеологических условий изучаемых площадей. Необходимость такого познания и создания соответствующей первоначальной основы для успешного осуществления дальнейших исследований вытекает из требований принципа последовательных приближений. Создание общей геолого-гидрогеологической основы обеспечивается проведением съемочных гидрогеологических работ.

Таким образом, гидрогеологическая съемка, являющаяся, как правило, первым этапом гидрогеологических исследований, может рассматриваться как метод первоначальных поисков и разведки подземных вод, при котором на основе комплексного геолого-гидрогеологического изучения территории и анализа поисково-разведочных признаков и критериев осуществляется ее общая гидрогеологическая оценка, выявляются перспективные структуры на различные типы подземных вод, бассейны и горизонты и решаются некоторые другие гидрогеологические задачи [4—9].

По мере увеличения потребностей народного хозяйства в водных и других природных ресурсах, расширения сфер влияния инженерной деятельности человека, роста промышленно-экономического по-

тенциала страны и внедрения достижений научно-технического прогресса в практику геологоразведочных работ роль и значение гидрогеологической съемки как одного из основных комплексных методов гидрогеологического изучения территорий постоянно повышаются.

§ 1. Виды и задачи гидрогеологической съемки

Гидрогеологическая съемка — это комплекс полевых исследований научно-производственного характера, выполняемых с целью изучения и картирования подземных вод, их естественных коллекторов и бассейнов, а также пород зоны аэрации. Гидрогеологическое изучение картируемой территории осуществляется на основе познания и учета особенностей ее геологического строения, стратиграфии, литологии, тектоники, геоморфологии, а также климата, гидрографии и других природных и искусственных факторов, предопределяющих условия формирования, залегания, распространения, движения, питания и разгрузки подземных вод. Вместе с тем обязательным является выяснение и оценка геологической роли и влияния подземных вод и гидрогеологических особенностей изучаемой территории на физико-геологические явления, возникновение или разрушение тех или иных форм рельефа, горных пород, полезных ископаемых, оценка роли и значения подземных вод в дальнейшем развитии и народнохозяйственном освоении территории и т. д.

Таким образом, в результате выполнения съемочных работ должны быть выяснены и установлены: водоносность различных геологических образований и структур, условия залегания, распространения, движения, питания и разгрузки основных водоносных горизонтов и комплексов, выдержанность по площади и в разрезе водовмещающих и водоупорных пород, качественный состав, количество и условия использования различных типов подземных вод и основные естественные и искусственные факторы, предопределяющие гидрогеологические особенности изучаемой территории, условия охраны подземных вод и перспективы проведения дальнейших разведочных, гидрогеологических и других видов работ. Естественно, что методы и детальность изучения перечисленных вопросов могут изменяться в зависимости от масштаба гидрогеологической съемки, ее целевого назначения, сложности геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и других факторов [3—10, 12].

Гидрогеологическая съемка проводится или на готовой геологической основе, или же одновременно с геологической съемкой, что является наиболее эффективным и целесообразным. В последнем случае она является комплексной геолого-гидрогеологической съемкой и соответственно должна обеспечить выполнение задач гидрогеологической и геологической съемок. При всех видах съемочных работ необходима тесная органическая увязка материалов геологического и гидрогеологического изучения территории. При исследо-

ваниях для целей мелиоративного и других видов строительства проводят комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические съемки.

Содержание гидрогеологической съемки меняется в зависимости от ее масштаба и назначения. По масштабу (детальности) гидрогеологические съемки делятся на мелкомасштабные (1:1 000 000—1:500 000) среднемасштабные (1:200 000—1:100 000) и крупномасштабные (1:50 000 и крупнее). Масштаб съемки определяется степенью сложности и изученности гидрогеологических условий территории, а также целевым назначением выполняемых съемочных работ.

В зависимости от целевого назначения выделяются общие (или государственные) и специальные (или специализированные) гидрогеологические съемки (при решении специальных задач).

Основная цель общей гидрогеологической съемки — планомерное и комплексное гидрогеологическое изучение и картирование территории СССР для выявления условий формирования, распространения и залегания различных типов подземных вод и предварительной оценки их режима, ресурсов и перспектив их использования в народном хозяйстве страны. Результатом проведения общей гидрогеологической съемки, выполняемой, как правило, по листам международной разграфки, являются государственная гидрогеологическая карта по отдельным планшетах, а также сводные карты в целом по СССР или по территории отдельных его регионов. Общая гидрогеологическая съемка территорий осуществляется обычно в мелком и среднем масштабах. В настоящее время при достаточно высокой степени изученности территории СССР ее планомерное гидрогеологическое изучение осуществляется в основном в среднем (преимущественно 1:200 000), а геологическое — в крупном (1:50 000) масштабах.

Специализированные гидрогеологические съемки выполняются с целью соответствующего гидрогеологического обоснования проектирования различных инженерных сооружений (систем водоснабжения, орошения, осушения и дренажа, гидротехнических сооружений, горнодобывающих предприятий и т. д.). Они, как правило, проводятся в крупном и реже в среднем масштабах, отличаются целенаправленностью и спецификой осуществления гидрогеологического изучения, обеспечивающего эффективное решение поставленных задач.

Частные задачи съемок в зависимости от объекта исследования и целевого задания могут быть разнообразными и определяются проектом работ. Однако независимо от этого основной общей задачей специализированных съемок является составление специализированных гидрогеологических карт и разрезов, отражающих условия залегания и распространения всех установленных водоносных горизонтов и комплексов, условия питания и разгрузки подземных вод, характер и направление движения подземных вод, глубину залегания грунтовых вод и пьезометрических уровней напорных вод,

химический состав и минерализацию подземных вод, характеристики фильтрационных свойств и других гидрогеологических параметров основных водоносных горизонтов и разделяющих их толщ, взаимосвязь водоносных горизонтов в разрезе между собой и с поверхностными водами, режим подземных вод.

Глубинность изучения перечисленных показателей и характеристик зависит от характера и специфики решаемых задач и нередко может составить сотни метров (изучение пресных, минеральных, промышленных и термальных вод, захоронение сточных вод и т. д.).

Особенности проведения специализированных съемок охарактеризованы во второй части учебника при рассмотрении методики гидрогеологических исследований для обоснования решения конкретных народнохозяйственных задач, а также в методических руководствах [5—9 и др.].

Мелко- и среднемасштабные гидрогеологические съемки используются, как уже отмечалось, для планомерного изучения и картирования неизученных и слабо изученных в гидрогеологическом отношении крупных регионов, обеспечивая их общую гидрогеологическую оценку и создавая основу для проведения дальнейших гидрогеологических исследований. Они должны отличаться максимальной глубиной картирования, от 150 до 700 м и более, достигающей по возможности зоны залегания подземных рассолов и подмерзлотных вод (в области распространения многолетней мерзлоты). Материалы этих съемок используются для построения различного рода сводных и региональных карт, теоретических обобщений, составления генеральных схем освоения новых территорий и схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, для технико-экономических обоснований (ТЭО), а также для обоснования проектов специальных гидрогеологических исследований и разведочных работ.

Среднемасштабная (1 : 200 000) гидрогеологическая съемка является в настоящее время основным видом государственного гидрогеологического картирования территории СССР, к ней предъявляются повышенные требования (кондиции) в отношении информативности и комплексности проведения исследований [1,5—9], и она рассматривается как первоначальная стадия геологоразведочного процесса на подземные воды.

Основным назначением работ этой стадии является выяснение основных закономерностей формирования и распространения различных типов подземных вод, общая оценка водоносности изучаемой территории и условий существующего и возможного использования подземных вод. Это дает возможность осуществлять общее гидрогеологическое районирование с выделением перспективных площадей и водоносных комплексов (горизонтов) для проведения дальнейших поисков и разведочных работ, а также определять условия проведения этих работ. Результаты съемки должны таким образом определять целесообразность и характер всех последующих исследований на картируемой территории, а именно: 1) основ-

ные направления поисковых и разведочных работ на различные типы подземных вод (пресные, минерализованные, минеральные, промышленные, термальные) и оценку перспектив их народнохозяйственного использования, 2) надежность проектных проработок и технико-экономических обоснований промышленного, гражданского и мелиоративного строительства на стадии генеральной схемы, 3) специализированные исследования и съемки более крупных масштабов. В результате выполнения общей среднемасштабной гидрогеологической съемки должна быть получена информация о подземных водах изучаемой территории с полнотой, соответствующей уровню промышленно-экономического потенциала района с учетом перспектив развития на ближайшие 10—15 лет всех отраслей народного хозяйства, в какой-либо степени связанных с использованием подземных вод.

К настоящему времени среднемасштабной гидрогеологической съемкой покрыта территория почти всех союзных республик, кроме половины площади РСФСР и части площадей Белоруссии, Казахстана, Туркмении и Узбекистана.

Гидрогеологическая съемка крупного масштаба в настоящее время также приобретает региональный характер. Она охватывает огромные территории интенсивного народнохозяйственного освоения. В ее задачи входит детальное изучение водоносных горизонтов, содержащих пресные, минерализованные и другие воды, представляющие наибольший интерес для народного хозяйства. Съемка должна включать более детальное подразделение и более точное картирование водоносных толщ и соответственно сопровождаться более детальной характеристикой подземных вод, площади распространения которых могут быть отражены на карте этого масштаба. Наибольшее внимание при съемке уделяется тем гидрогеологическим факторам и элементам, изучение которых способствует эффективному решению поставленных перед съемкой практических задач.

Крупномасштабные съемки, как уже отмечалось, чаще являются специализированными, обеспечивающими решение разнообразных специальных задач на стадиях составления проектов и рабочей документации.

Гидрогеологические съемки различных масштабов имеют много общего в плане обязательного освещения геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и соответствующего выяснения и изучения перечисленных выше основных вопросов. Отличаются они глубиной изучения и картирования гидрогеологических условий, размерами картируемых объектов, а также детальностью их подразделения и точностью картирования [4—10]. Чем крупнее масштаб гидрогеологической съемки, тем большее значение приобретают количественные методы определения тех или иных показателей.

Методика проведения гидрогеологических съемок и методы решения поставленных конкретных задач зависят от природных осо-

бенностей изучаемых территорий, целевого задания съемочных работ, технико-экономических условий осуществления исследований и других факторов.

§ 2. Содержание гидрогеологической съемки и методы ее проведения

При возможном отличии требований к гидрогеологическим съемкам в различных по природным условиям районах и при разной их масштабности основное содержание съемки остается общим и предопределяется необходимостью изучения с той или иной степенью детальности определенных вопросов. В несколько обобщенном виде вопросы, подлежащие выяснению, могут быть сформулированы следующим образом: 1) водоносность различных геологических образований и структур и гидрогеологическая стратификация изученной части геологического разреза, 2) распространение и последовательность, условия и глубина залегания развитых на картируемой территории водопроницаемых водоносных и безводных толщ и выдержанных водоупоров, их мощность, фациальные и литологические особенности, характер и распределение пористости и трещиноватости, водопроницаемость и растворимость изучаемых пород в воде, 3) области и условия питания и разгрузки различных водоносных толщ, связь между ними и с поверхностными водами, глубина залегания и отметки поверхности грунтовых и артезианских вод, границы их распространения, 4) химический и газовый состав, радиоактивность и температура подземных вод различных водоносных толщ и факторы, определяющие их изменчивость в разрезе и по простиранию с выявлением гидрохимической и гидротермической зональности, 5) режим подземных вод, 6) условия существующего и возможного использования подземных вод для водоснабжения, орошения и других целей, 7) ресурсы подземных вод и условия их формирования, 8) условия заболачивания местности, 9) обводнение месторождений полезных ископаемых, 10) влияние подземных вод на горные породы, полезные ископаемые, физико-геологические явления и формы рельефа, 11) влияние на подземные воды различных искусственных факторов (оценка техногенного воздействия): действующих горных выработок, крупных водозаборов, водохранилищ, оросительных и дренажных систем, сбросов жидких и твердых отходов производства и др., 12) условия охраны подземных вод от загрязнения и истощения, 13) гидрохимические аномалии и ореолы рассеяния некоторых компонентов в целях обнаружения полезных ископаемых по гидрохимическим признакам, а также радиогидрогеологические и геотермические аномалии, 14) сравнительная характеристика прочностных, водно-физических, фильтрационных особенностей горных пород и общая оценка инженерно-геологических условий строительства в пределах изучаемой территории, 15) общее и специализированное гидрогеологическое районирование (уточнение границ гидрогеологических структур и районов,

районирование по условиям водоснабжения, защищенности подземных вод от загрязнения, условиям их искусственного пополнения и др.).

Для успешного и эффективного выполнения многочисленных задач, поставленных перед съемкой, требуется проведение комплекса различных видов работ и исследований, что и предопределяет комплексный характер гидрогеологической съемки.

В настоящее время при проведении гидрогеологической съемки применяются следующие виды и методы исследований: 1) сбор, систематизация и анализ материалов ранее выполненных работ и исследований, 2) аэрометоды и дешифрирование аэро- и космфотоснимков, 3) аэровизуальные и наземные визуальные наблюдения (геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические, инженерно-геологические), 4) бурение (картировочное, поисковое, параметрическое, зондировочное), шурфование и расчистки, 5) опытно-фильтрационные работы, 6) наблюдения за режимом подземных вод, 7) геофизические исследования, 8) гидрохимические и радиогидрогеологические исследования, 9) лабораторные работы, 10) камеральные работы.

В зависимости от получаемых результатов выделяются прямые и косвенные методы изучения гидрогеологических условий. К прямым относятся такие методы, при помощи которых непосредственно изучаются объекты гидрогеологической съемки и картируемые характеристики их (визуальные и аэровизуальные, геолого-гидрогеологические, геокриологические и инженерно-геологические наблюдения, материалы бурения и опробования скважин, гидрохимические и радиогидрогеологические исследования), а к косвенным — методы, посредством которых получают косвенные данные, в той или иной мере отражающие гидрогеологические особенности изучаемой местности (геоморфологические и геоботанические наблюдения, геофизические, аэроландшафтные, радиолокационные, изотопные и другие исследования).

В начальной стадии работ объекты съемки и картируемые характеристики следует изучать посредством прямых методов в опорных естественных или искусственных разрезах и водопунктах. В процессе съемки для прослеживания по площади установленных данных и характеристик наряду с прямыми необходимо применять и косвенные методы. Последние используются также для составления вспомогательных схем и гидрогеологических карт по косвенным данным в начальный период исследований (особенно аэрометоды).

При выборе методов гидрогеологической съемки должны учитываться их эффективность и производительность. Наилучшие результаты получаются при комплексном применении нескольких методов, дополняющих друг друга. Наиболее рациональные сочетания методов, их объемов и последовательности проведения выбираются на основе всестороннего учета геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории в целях обеспечения успешного решения по-

ставленных перед съемкой задач в кратчайшие сроки и при минимальных затратах. Задача обоснования рационального комплекса исследований в составе съемки решается в предполевой (подготовительный) период при составлении проекта съемочных работ с учетом результатов анализа материалов ранее выполненных исследований и соблюдения общих принципов проведения гидрогеологических исследований и принципов их оптимизации (см. гл. I).

Эффективность и значение того или иного метода зависят не только от его совершенства, но и главным образом от природных условий района, в котором проводится гидрогеологическая съемка.

В открытых районах с широко и глубоко развитой эрозионной сетью и наличием значительного количества естественных водопроявлений основными методами являются наземные визуальные и аэровизуальные наблюдения, сопровождаемые зондировочным бурением, шурфованием и расчистками. Картировочное бурение и геофизические методы здесь имеют подчиненное значение. В таких районах гидрогеологической съемке должны предшествовать аэрофотосъемка и дешифрирование. Только после этого приступают к изучению опорных естественных и искусственных геолого-гидрогеологических разрезов и водопунктов путем наземных наблюдений, а также к прослеживанию распространения картируемых объектов с использованием отдешифрированных аэрофотоснимков и аэровизуальных наблюдений, зондировочного и картировочного бурения, гидрогеологических и геофизических работ. При этом проводится полевое опробование подземных вод с отбором проб для лабораторных исследований.

В закрытых районах, где эрозионной сетью вскрываются лишь коллектора подземных вод четвертичных отложений, первостепенное значение приобретают поисковое и картировочное бурение, а также геофизические методы. Наземные и аэровизуальные наблюдения, аэрофотосъемка и дешифрирование отходят на второй план, причем геофизические исследования здесь должны как предшествовать, так и сопровождать бурение. Тем не менее гидрогеологическую съемку и в таких районах следует начинать с дешифрирования аэрофотоматериалов и аэровизуального обзора местности с последующим проведением геофизических исследований, опирающихся на материалы разрезов пробуренных ранее скважин с составлением по аэрофотоматериалам и геофизическим данным предварительных гидрогеологических карт (схем) и разрезов. Затем выполняется поисковое и картировочное бурение на границах изменения геологических и гидрогеологических показателей, обозначенных на предварительных картах и разрезах, а также между этими точками в целях непосредственного изучения картируемых объектов и характеристик их, проверки и уточнения составленных по аэрофотоматериалам и геофизическим данным карт и разрезов. Бурение скважин, сопровождается каротажем, пробными и опытными откачками, отбором проб подземных вод и горных пород для лабораторных исследований.

В полузакрытых районах, занимающих промежуточное положение, применяются все указанные методы съемки, причем их значение и последовательность применения на различных участках могут изменяться в зависимости от степени открытости их геолого-гидрогеологического разреза до картируемой глубины. Например, в пределах зоны эрозионных врезов применяются главным образом наземные наблюдения, для изучения же и картирования более глубоких горизонтов используются геофизические методы и бурение. Приемы проведения гидрогеологической съемки зависят в основном от природных условий района, степени их сложности и изученности. При этом объемы полевых работ могут либо относительно равномерно размещаться по всей картируемой территории (площадная съемка), либо концентрироваться на отдельных типовых участках, называемых ключевыми (съемка по ключевым участкам). Возможны и различные комбинации указанных приемов проведения съемочных работ [3,4].

Площадной метод съемки целесообразен на территориях хорошей проходимости в обстановке сильно измененных ландшафтов (при этом в зависимости от сложности и изученности гидрогеологических условий размещение объемов полевых работ может быть равномерным или неравномерным с относительной их концентрацией на наиболее сложных и наименее изученных площадях).

Съемка по ключевым участкам предпочтительна на территориях со сложными условиями проходимости и слабо нарушенными ландшафтами. Ключевые участки должны размещаться во всех типичных по гидрогеологическим условиям районах (что требует предварительного районирования территории по признаку однотипности гидрогеологических условий) и на наиболее важных в гидрогеологическом отношении площадях. Исследования на участках выполняются с большей по сравнению с масштабом съемки детальностью при комплексном применении всех необходимых видов и методов исследований (комплекс исследований на ключевых участках может быть разным в зависимости от их назначения, гидрогеологических особенностей и задач съемки).

Описанные приемы гидрогеологической съемки практикуются как при полистной форме организации съемочных работ (съемка по отдельным листам с представлением самостоятельных отчетов), так и при групповой съемке [4]. Съемка групповым методом рекомендуется в основном для осуществления государственной гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000, либо гидрогеологического доизучения площадей. При этом гидрогеологические съемочные работы выполняются одновременно на нескольких смежных номенклатурных листах, расположенных в пределах единой крупной гидрогеологической структуры, характеризующейся относительно однородными гидрогеологическими условиями, т. е. работы выполняются по принципу «от общего к частному». Анализ и использование имеющихся материалов по всему картируемому региону, широкое применение ускоренных приемов ведения гидрогеологической

съемки, дистанционных методов картирования (аэро- и космофото-съемка, радиолокационные методы) и других методов исследований позволяют осуществлять съемочные гидрогеологические работы без снижения их качества при минимальных затратах труда, времени и средств. Многие положения по организации и проведению групповых съемочных работ могут быть использованы и при выполнении гидрогеологических съемок других масштабов и назначения.

Ускорению и повышению эффективности гидрогеологической съемки способствует применение ландшафтно-индикационного метода, основанного на изучении элементов ландшафта (рельефа, гидросети, растительности, почв и др.) с учетом специфики их отображения на аэро- и космофотоснимках, для познания гидрогеологических процессов и закономерностей распространения подземных вод. Предварительное построение ландшафтно-индикационной карты с выделением на ней определенных типов ландшафта, каждому из которых свойственно определенное сочетание геолого-гидрогеологических, геоморфологических, почвенных и других условий, позволяет осуществлять правильное сочетание и площадное распределение объемов работ, выделять ключевые участки для детального изучения и экстраполировать полученные при съемке результаты на площади однотипных в гидрогеологическом отношении районов.

В большинстве районов опережающим видом съемочных работ должен быть аэроландшафтный (особенно при групповой съемке в относительно изученных районах). В слабоизученных районах для повышения достоверности предварительной ландшафтно-индикационной карты выполняют ограниченный объем горно-буровых работ и наземные геофизические исследования (с последующей их детализацией в процессе основных съемочных работ).

Несмотря на широкое применение аэроландшафтных, радиолокационных, геофизических и других исследований в процессе гидрогеологической съемки основным ее видом работ были и остаются маршрутные исследования, в процессе проведения которых осуществляются разнообразные наземные визуальные наблюдения: геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические и инженерно-геологические. Они являются основой для проверки результатов предварительного дешифрирования аэрокосмофотоматериалов, результатов всех видов дистанционных исследований, уточнения предварительного составленных схем, карт и т. д.

Вопросы глубинности и гидрогеологической стратификации съемки. Важнейшими вопросами, определяющими эффективность и информативность съемки, являются вопросы глубинности исследований и степени детальности гидрогеологического расчленения изученной части геологического разреза. В каждом гидрогеолого-экономическом районе гидрогеологическая съемка должна давать информацию на максимально возможную и рациональную в данных условиях глубину.

Глубинность гидрогеологической съемки определяется ее масштабом, степенью расчлененности рельефа, глубиной залегания кровли практически безводных толщ кристаллического фундамента, условиями обводненности пород изучаемой части геологического разреза, степенью освоенности территории, направленностью развития народного хозяйства и потребностью его в различных типах подземных вод (пресных, минеральных, промышленных, термальных) и другими факторами. Глубинность исследований при съемке должна быть несколько больше глубинности картирования. Это необходимо для выявления степени гидравлической связи картируемых водоносных толщ с подземными водами залегающих ниже отложений и предварительной перспективной оценки последних [8]. Для решения этой задачи может потребоваться бурение в отдельных точках несколько более глубоких скважин и проведение соответствующих геофизических исследований.

В общем случае чем мельче масштаб гидрогеологической съемки, тем больше ее прогнозное значение и тем больше должна быть глубинность изучения и картирования. При этих условиях между съемками разного масштаба обеспечивается преемственность по глубине.

При мелкомасштабной гидрогеологической съемке должна быть выявлена вертикальная гидрохимическая зональность подземных вод, установлено положение границ каждой гидрохимической зоны и в общих чертах освещены качественные и количественные особенности движущихся в них подземных вод. Поэтому глубинность ее должна быть максимальной, предусматривающей, как правило, изучение зоны интенсивного водообмена вплоть до подземных рассолов и подмерзлотных вод.

При среднемасштабной гидрогеологической съемке изучается гидрогеологический разрез всей толщи, содержащей пресные и соленые воды со сравнительной оценкой качества воды всех выделяемых гидрогеологических подразделений, представляющих практический интерес.

При этом рекомендуется в отдельных пунктах установить глубину залегания и химический состав подземных рассолов, если это не было сделано ранее при мелкомасштабной съемке. Картирование доводится до наиболее глубоких из установленных водоносных горизонтов хозяйственно-питьевых, лечебных и промышленных вод (иногда на глубину до 700 м, но всегда не менее 100—150 м). В зависимости от степени и характера изученности принято различать зону картирования, зону изучения (определяется глубинностью исследований) и зону схематического изучения (по отдельным опорным и глубоким скважинам и общему анализу имеющихся геологических материалов).

На территориях, где проводится съемка в крупном масштабе, глубина изучения подземных вод устанавливается исходя из гипсометрического положения тех горизонтов и комплексов, воды которых представляют наибольший интерес для эксплуатации. Такие

водоносные горизонты и комплексы выявляются по результатам съемочных и поисковых работ, выполненных на более ранних стадиях исследований, либо по результатам поисково-разведочных работ на нефть и газ. При гидрогеологическом картировании и количественной оценке запасов подземных вод важное значение имеет обоснованное расчленение геологического разреза на водоносные и водоупорные толщи, выделение соответствующих форм скопления подземных вод и установление площадей их распространения.

Общепринятого подхода к гидрогеологической стратификации разреза пока не существует [11]. В практике гидрогеологических исследований и картирования используются нередко различные принципы гидрогеологического расчленения геологического разреза (литолого-стратиграфический, литолого-петрографический, гидродинамический и др.). Наиболее широкое распространение получил литолого-стратиграфический метод расчленения разреза, в соответствии с которым в толще рыхлых и слабосцементированных осадочных и метаморфических пород принято выделять водоносные и водоупорные горизонты, комплексы, серии, этажи, что позволяет расчленять изучаемый геологический разрез с различной степенью детальности в соответствии с накопленными практическими материалами и возможностями гидрогеологической съемки того или иного масштаба.

При крупномасштабной гидрогеологической съемке имеется возможность выделять и картировать не только водоносные горизонты, но и отдельные водоносные пласты и линзы, которые некоторые исследователи предлагают рассматривать в качестве элементарных таксономических подразделений гидрогеологической стратификации [8]. При среднемасштабной съемке могут и должны выделяться и картироваться водоносные горизонты и комплексы, при мелкомасштабной — водоносные комплексы и этажи.

Каждое из выделенных стратификационных гидрогеологических подразделений должно быть охарактеризовано в фациально-литологическом отношении по площади и в разрезе, по фильтрационным и водно-физическим свойствам, по водообильности, по условиям залегания и граничным условиям и по другим показателям [3—9].

В последнее время [11] ВСЕГИНГЕО установлены некоторые общие принципиальные положения гидрогеологической стратификации, которые нашли отражение в методических рекомендациях по гидрогеологической съемке масштаба 1 : 200 000.

Гидрогеологическая стратификация (расчленение геологического разреза по гидрогеологическим признакам) должна быть единой для всех видов гидрогеологических исследований. При этом для гидрогеологического расчленения разреза могут использоваться различные ее таксономические подразделения (линза, слой, подгоризонт, горизонт, комплекс, серия, зона экзогенной трещиноватости и др.) в зависимости от типа разреза и детальности (масштаба) выполняемых исследований.

Расчленение геологического разреза на отдельные таксономические подразделения осуществляется на основе учета совокупности признаков, отражающих объективную способность горных пород принимать, пропускать и отдавать подземные воды. В качестве таких признаков принимаются способность пород пропускать и отдавать воду, степень водопроницаемости, степень водонасыщения, характер фильтрационной однородности и гидравлической связи, тип водопроницаемости и др.

По способности пропускать и отдавать воду выделяются *водопроницаемые* и *водонепроницаемые породы* (водопроницаемые с коэффициентом фильтрации K 1 м/сут и более, слабопроницаемые с K от 10^{-4} до 1 м/сут, водонепроницаемые с K менее 10^{-4} м/сут). *Водопроницаемые породы* могут быть водоносными, локально водоносными и неводоносными; *водонепроницаемые породы*, не способные в естественном состоянии пропускать и отдавать воду, являются водоупорными. Водопроницаемые неводоносные и водоупорные породы предлагается подразделять соответственно на неводоносные и водоупорные слои, горизонты, комплексы.

Под *горизонтом* принято понимать гидрогеологическое тело пластовой формы, обладающее сравнительно однородной (в пределах одного порядка) и однотипной водопроницаемостью, ограниченное породами, резко отличающимися величиной или типом водопроницаемости или зоной аэрации. В геологическом отношении горизонт отвечает литофации. *Комплекс* — это фильтрационно неоднородное гидрогеологическое тело пластовой формы, отвечающее фациально неоднородной части ритма осадконакопления, что затрудняет его расчленение на отдельные горизонты. Водоносная серия объединяет несколько смежных горизонтов или комплексов, близких по типу водопроницаемости и образующих гидравлически единую систему. В геологическом отношении она отвечает определенному ритму осадконакопления, отделенному значительными стратиграфическими перерывами, угловым несогласием либо региональными водоупорными горизонтами (комплексами).

В составе кристаллических, метаморфических, вулканогенных и интенсивно литифицированных осадочных пород основными картируемыми гидрогеологическими единицами являются: водоносная зона экзогенной трещиноватости (водоносная часть коры выветривания геологических тел, однотипная по водопроницаемости), водоносные разломы, дайки, трубки взрыва. Зона экзогенной трещиноватости может быть локально водоносной, сдренированной (неводоносной) или периодически водоносной. В качестве водоупорных выделяются водоупорные массивы, разломы, дайки.

В криолитозоне по соотношению между талой и мерзлой частями картируемых подразделений по площади дополнительно выделяют таликовые (талая часть более 80%) либо криогенно-таликовые подразделения (талая часть менее 80%), т. е. картируются соответственно таликовые или криогенно-таликовые горизонты, комплексы, зоны трещиноватости, разломы и т. д. Промороженные лишь в вер-

хней части разреза подразделения выделяются как субкриогенные (горизонты, комплексы, зоны экзогенной трещиноватости и т. д.).

Изложенные принципы приняты за основу при государственном гидрогеологическом картировании территории в масштабе 1:200 000 и могут использоваться в дальнейшем при разработке схем гидрогеологической стратификации геологического разреза.

Порядок планирования и проведения гидрогеологической съемки.

Проведение гидрогеологической съемки включает три периода: а) подготовительный; б) полевой и в) камеральный.

В подготовительный период осуществляется проектирование съемочных работ, а также научно-методическая и организационно-хозяйственная подготовка их проведения [4—8, 12].

Проектирование съемочных работ осуществляется в полной увязке с планами геологоразведочных работ и является одним из важнейших этапов. Современное состояние гидрогеологической изученности территории СССР обуславливает определенные требования к этому этапу работ, на котором должны быть систематизированы, обобщены и проанализированы все накопленные по району работ материалы (аэрофотоснимки, результаты съемок, изысканий, разведочных работ). На основе анализа и обобщения этих материалов еще до подготовки и утверждения проекта должны быть составлены схемы геологической, гидрогеологической и геофизической изученности, а также предварительные карты (ландшафтно-индикационная, оценочная по степени изученности, типизации по условиям проведения съемки, гидрогеологические для верхних и глубоких горизонтов, погоризонтные карты и др.) в масштабе планируемой съемки и разрезы к ним. Важнейшими картами для обоснования видов и объемов исследований и их площадного размещения являются «оценочная», отражающая степень соответствия имеющейся гидрогеологической информации задачам проектируемой съемки, и ландшафтно-индикационная. На оценочной карте целесообразно выделять участки, требующие: полевых исследований в ограниченном объеме, значительного объема полевых работ, полного комплекса исследований и не требующие полевых работ. О роли ландшафтно-индикационной карты для этих целей уже говорилось выше.

Таким образом, предварительные карты должны определять тот недостающий материал, который необходимо получить в процессе проведения съемки. Только после их детального анализа можно выбирать места заложения горных выработок и обосновывать в проекте необходимые для проведения виды и объемы работ, отвечающие понятию «рациональный комплекс исследований» (см. гл. 1, § 2 и 4).

Оптимальное и экономически рациональное сочетание разных видов работ должно обеспечить сбор необходимой информации, учесть их возможные комбинации при съемке участков, различающихся по сложности строения и особенностям гидрогеологических

условий. В начале работ следует применять методы, быстро дающие обширную информацию (дешифрирование аэро- и космофотоснимков), а при изучении гидрогеологических параметров, отдельных важных характеристик пород и воды — методы, обеспечивающие полноту сведений (детальное изучение разрезов, опытно-фильтрационные работы и наблюдения, лабораторные исследования и др.). Принципы обоснования рационального комплекса исследований были изложены выше (см. гл. I, § 2 и 4, гл. II, § 2). Определенные рекомендации по применению рационального комплекса полевых исследований в различных природных условиях имеются в методических руководствах по съемкам [3—10].

В производственно-технической части проекта обосновывается выбор оборудования, транспортных средств и определяются меры по технике безопасности и организации полевых работ, которые в совокупности обеспечивают выполнение проектного задания в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

В соответствии с проектом составляется рабочая программа исследований, устанавливающая время и последовательность проведения намеченных видов работ, детализирующая методику их проведения, определяющая направление основных маршрутов и мест изучения опорных разрезов, фильтрационных свойств пород и т. д.

В подготовительный период осуществляется комплектация полевой партии инженерно-техническим персоналом, оборудованием, приборами, снаряжением и пр. Съёмочные работы должны быть обеспечены топографической и геологической основой в масштабе съемки (при необходимости допустимо отклонение в масштабах не более чем в 2 раза). В зависимости от сложности, изученности и условий проведения съемка проводится либо как площадная, либо по ключевым участкам, либо комбинированием площадной съемки на одних территориях со съемкой по ключевым участкам на других. Для увязки информации по ключам и ее экстраполяции по площадям съемки проводят увязочные маршруты [3, 4].

В полевой период осуществляются предусмотренные в составе гидрогеологической съемки виды и методы исследований, ведется текущая камеральная обработка материалов полевых исследований, составляются полевые карты и отчет, выполняются необходимые увязки и т. д. Обычно полевые работы выполняются в определенной последовательности: рекогносцировочные исследования, работы на ключевых участках и профилях и полевые маршрутные наблюдения, буровые и опытно-фильтрационные работы, увязочные маршруты и наблюдения. Режимные наблюдения обычно ведутся в течение всего периода съемочных работ; аэрометоды и геофизические работы предшествуют основным полевым методам.

В камеральный период обрабатываются материалы полевых исследований, составляются и оформляются все необходимые основные и вспомогательные карты, разрезы и текст окончательного отчета по выполненной съемке.

§ 3. Характеристика исследований, выполняемых в составе гидрогеологической съемки

Виды, объемы, последовательность и методика проведения входящих в состав гидрогеологической съемки исследований должны обосновываться и выполняться с учетом геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и успешного решения основных и дополнительных поставленных перед съемкой задач. Для правильного и эффективного комплексирования различных видов исследований необходимо знать возможности отдельных видов исследований и особенности их применения в различных ландшафтных условиях с учетом экономических показателей.

Детальное описание отдельных видов исследований в процессе проведения гидрогеологической съемки, их особенностей и методики проведения излагается в специальных методических руководствах [3—8, 12]. Некоторые из них (бурение, опытно-фильтрационные работы, наблюдения за режимом подземных вод, лабораторные исследования, геофизические, гидрогеохимические и радиогидрогеологические) детально освещены в гл. III—VIII. Поэтому ниже приводится лишь краткая характеристика отдельных видов исследований, выполняемых в составе гидрогеологической съемки, при этом основное внимание уделяется различным видам исследований и наблюдений, осуществляемых при маршрутном изучении картируемой территории.

Аэрофотосъемка, дешифрирование аэро- и космофотоснимков и аэровизуальные наблюдения. Использование аэрофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения при гидрогеологической съемке значительно облегчают выявление картируемых гидрогеологических объектов, их прослеживание и оконтуривание по прямым и косвенным признакам, отраженным на аэро- и космофотоснимках или просматриваемым с воздуха. При этом обеспечиваются возможности уменьшения количества наземных маршрутов, сокращения объемов наземных наблюдений, увеличения производительности съемочных работ и повышения качества гидрогеологических карт. Поэтому дешифрирование аэрофотоснимков и применение аэровизуальных наблюдений целесообразно проводить в первую очередь и во всех районах. Рекомендуются следующие рациональные соотношения между масштабами гидрогеологических съемок и аэрофотоснимков:

*Масштабы
гидрогеологических съемок*

1 : 1 000 000
1 : 500 000
1 : 200 000
1 : 100 000
1 : 50 000
1 : 25 000
1 : 10 000 и крупнее

*Масштабы
аэрофотоснимков*

1 : 50 000 — 1 : 60 000
1 : 40 000
1 : 25 000 — 1 : 30 000
1 : 17 000 — 1 : 25 000
1 : 10 000 — 1 : 17 000
1 : 10 000
1 : 5 000

Следует учитывать, что при съемке в горно-складчатых областях и в районах со сложными гидрогеологическими условиями целесообразно использовать аэрофотоснимки более крупного масштаба, чем в районах с пологим залеганием пород и с простыми гидрогеологическими условиями. Космофотосъемка, выполняемая с космических кораблей, орбитальных станций и спутников, находит наибольшее применение при региональных гидрогеологических съемках. При этом обычно используются космофотоснимки регионального и локального уровня генерализации (масштабов от 1 : 3 500 000 до 1 : 1 000 000 и крупнее), которые наибольший эффект дают в сочетании с аэрофотоснимками. Особенно эффективно использование разномасштабных разновременных и разноспектральных космических съемок и аэрофотосъемок [2, 10].

Для правильной интерпретации данных аэрофотосъемки необходимы наземные исследования, позволяющие расшифровывать различные контуры на фотоснимках, устанавливая связи грунтовых вод с рельефом, растительностью, почвами, выявлять индикаторы грунтовых вод и их фотографических эталонов. Основные виды наземных исследований — маршрутные наблюдения, бурение и гидрогеологическое опробование скважин и источников.

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

Дешифрирование аэрофотоснимков выполняется на всех этапах гидрогеологических работ.

В подготовительный период проводится предварительное дешифрирование в целях общего ознакомления с особенностями района и составления предварительных карт (ландшафтно-индикационной, геоморфологической, гидрогеологической и др.) и схемы маршрутных и других исследований.

Отдешифрированные геологические, геоморфологические и гидрогеологические границы и другие объекты гидрогеологического картирования отмечаются на контактных отпечатках, которые используются при составлении полевых гидрогеологических карт. Дешифрированием охватывается непременно вся площадь исследований. Особое внимание обращается на межмаршрутные пространства, не обеспеченные непосредственными полевыми наблю-

дениями. Окончательное дешифрирование аэро- и космофотоснимков осуществляется на основе уточненных дешифрирующих признаков в камеральный период.

Аэровизуальные наблюдения применяются либо при рекогносцировочных исследованиях, либо при съемках различного масштаба (особенно среднего и мелкого) для корректировки наземных наблюдений, выявления особенностей рельефа и растительности отдельных участков, характера эрозионной сети, развития тех или иных физико-геологических явлений (обвалы, оползни, карст, болота и др.), хорошо и слабо обнаженных участков местности, простираения выраженных в рельефе толщ горных пород и тектонических структур, выходов подземных вод и др.

Результаты аэровизуальных наблюдений оформляются в виде записей в дневнике, карт-эскизов, рисунков, схем, перспективных снимков и зарисовок.

Наземные визуальные наблюдения. Различного рода наземные визуальные наблюдения проводятся в процессе маршрутных исследований картируемой территории, являющихся одним из основных и неотъемлемых видов работ при гидрогеологической съемке. В процессе маршрутных исследований представляется возможность непосредственно выявить и изучить гидрогеологические объекты и их возможные проявления. На основе геологических, геоморфологических, гидрологических, геоботанических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других видов наблюдений обеспечивается наиболее полное, комплексное и надежное их изучение и оценка. Получаемый в результате маршрутных исследований материал является наиболее важным для изучения и оценки верхних водоносных горизонтов (вскрываемых эрозионной сетью, шахтными колодцами и неглубокими скважинами) и составления соответствующей гидрогеологической карты.

До начала маршрутных исследований изучается сводный опорный разрез района, выполняются рекогносцировочные исследования, уточняются его геологическая и гидрогеологическая стратификационные схемы, разрабатывается система маршрутов. Количество точек наблюдения в маршрутах зависит от сложности геологических и гидрогеологических условий, выдержанности водоносных горизонтов и постоянства их гидрогеологических характеристик (степени обводненности пород, глубины залегания вод, химического состава вод и др.).

Система и частота маршрутов зависят от масштаба и целей съемки, сложности геолого-гидрогеологических условий, характера рельефа местности, доступности и возможности передвижения в районе съемки. Маршруты должны достаточно равномерно охватывать всю площадь съемки (примерно один-два маршрута на каждый квадратный сантиметр карты в масштабе съемки) и обеспечить наиболее высокие результативные темпы съемочных работ при минимальных затратах труда, времени и средств. Наибольшее внимание уделяется изучению глубоко врезуемых долин рек,

где в уступах террас наблюдаются многочисленные источники, иногда расположенные в несколько ярусов, а также участкам гидрогеологических, гидрохимических и других аномалий.

Наиболее эффективной считается система перекрещивающихся маршрутов, проходящих по наиболее глубоким, хорошо обнаженным эрозионным врезам, секущим геологические напластования, тектонические структуры и формы рельефа вкрест и по их простирацию.

Маршруты вкрест простираения геологических напластований, тектонических структур и форм, рельефа позволяют проследить последовательность напластований, их взаимоотношения, фациально-литологические особенности, мощность, условия залегания, водоносность и качество вод отдельных толщ. Эти маршруты осуществляются наиболее квалифицированными гидрогеологами-съемщиками. Маршруты по простираению являются связующими между основными маршрутами и проводятся с целью прослеживания границ распространения водоносных и безводных толщ, выявления типов подземных вод и т. д.

Выделяются следующие основные виды маршрутных наблюдений: геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические и инженерно-геологические. Маршрутные наблюдения сопровождаются качественным и количественным опробованием подземных вод, которыми необходимо охарактеризовать все участки, различающиеся по гидрогеологическим и структурно-геологическим условиям. К маршрутным наблюдениям предъявляются определенные требования, кратко охарактеризованные ниже и детально изложенные в методической литературе [4—8, 12].

Геоморфологические наблюдения. Задачами геоморфологических наблюдений при гидрогеологической съемке являются: 1) изучение распространения и особенностей различных форм рельефа и их связей с подземными водами; 2) получение дополнительного материала для картирования геологических структур, толщ пород различного состава и особенно четвертичных отложений; 3) выявление характера, направленности и интенсивности физико-геологических явлений, связанных с формированием рельефа; 4) оценка геоморфологических условий для практических целей (строительства промышленных и горных предприятий, дорог и др.).

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

При описании рельефа необходимо выяснить: 1) морфологию — внешний вид рельефа: выделяются и описываются круп-

ные элементы рельефа (водоразделы, речные долины, вершины и др.), отдельные формы (холмы, гряды, увалы, овраги, террасы, уступы и др.), элементы форм (склоны террас, характер бровки и т. д.); 2) морфометрию — длину, ширину, высоту или глубину каждой формы рельефа, уклон ее поверхности, абсолютные отметки описываемых точек; 3) происхождение элементов рельефа и степень участия их в образовании подземных вод.

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

По результатам геоморфологических наблюдений выделяются основные типы рельефа территории: горно-тектонический, вулканический, структурно-пластовый, скульптурный, или эрозионный, аккумулятивный, а также (при необходимости) составляется геоморфологическая карта.

Геологические наблюдения. Задачами геологических наблюдений при гидрогеологической съемке являются: 1) изучение литологических особенностей, физических свойств и залегания пород с целью установления условий их обводненности; 2) сопоставление ранее составленной геологической основы с наблюдаемым стратиграфическим разрезом изучаемого района; ознакомление с характером стратиграфических и структурных границ и контактов; 3) привязка выделяемых водоносных горизонтов и комплексов к определенным литолого-стратиграфическим толщам; 4) изучение физико-геологических явлений.

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

Густота и расположение маршрутов и точек геологических наблюдений конкретно определяются в зависимости от сложности геологического строения, масштаба и назначения гидрогеологической съемки. С помощью геологических наблюдений необходимо прежде всего выявить такие особенности различных литолого-стратиграфических толщ, которые определяют их обводненность и фильтрационные свойства (трещиноватость, закарстованность, эффективную пористость, выветрелость, раздробленность, плотность, гранулометрический состав и др.). В процессе гидрогеологической съемки следует также закартировать и описать наблюдающиеся в районе физико-геологические явления, выяснить их происхождение, возраст и причины образования.

Гидрогеологические наблюдения. Задачами гидрогеологических наблюдений при маршрутных исследованиях являются: непосредственное выявление гидрогеологических объектов и их проявлений; изучение степени и характера водоносности горных по-

род, условий залегания, распространения, питания и разгрузки подземных вод, их режима и взаимосвязи с поверхностными водами; оценка физических свойств, химического состава и качества подземных вод, их влияния на развитие физико-геологических процессов, на горные породы, на условия эксплуатации водозаборов, выработок рудников и т. д.

Объектами визуальных гидрогеологических наблюдений служат: естественные водопоявления (источники, мочажины, участки высачивания, ручьи, поверхностные водотоки и водоемы); каптажи подземных вод (скважины, колодцы, копани, галереи и другие действующие и недействующие горные выработки и сооружения); водовмещающие, безводные и водоупорные породы, их водно-физические и фильтрационные свойства, а также косвенные показатели гидрогеологических условий (рельеф, почвенно-растительный покров, поверхностные водоемы и др.). Для всех объектов наблюдений устанавливается единая или раздельная нумерация. Перед номером каждого объекта в полевой книжке ставится особый значок, принятый в легенде для обозначения того или иного объекта. Это облегчает последующую выборку фактического материала для соответствующих карт, таблиц и текста отчета. Положение точек наблюдения фиксируется на полевых картах.

Наблюдения по маршрутам должны проводиться непрерывно и повсеместно, с особой тщательностью в местах обнажения наиболее полного геолого-гидрогеологического разреза и его существенного изменения, а также на участках выхода подземных вод и изменения характера рельефа.

Для обеспечения полноты наблюдений и во избежание пропуска каких-либо водоносных или водоупорных пластов и горизонтов, встречающихся по маршруту, и тем более обследуемых обнажений, колодцев и выходов подземных вод, разрезы должны иметь определенную стратиграфическую преемственность, частично перекрываться и смыкаться между собой по какому-либо пласту или характерному контакту.

Наблюдения носят комплексный характер и ведутся в пределах видимости невооруженным глазом, с применением бинокля для обозрения недоступных объектов и разделяющего маршруты пространства. При этом обращается внимание на рельеф и микрорельеф, растительность и почвенный покров, глубину вреза и густоту эрозионной сети, строение гидрогеологического разреза, условия залегания, вещественный состав, структуру и текстуру слагающих его пород; характер и распределение скважности, водно-физические и фильтрационные особенности отдельных пластов; выходы и способы вскрытия подземных вод, температуру и физические свойства последних; глубину их залегания от поверхности земли и связь с поверхностными водами. Попутно проводится качественное и количественное опробование водопоявлений и водопунктов полевыми методами и отбор проб воды для лаборатор-

ных исследований, описываются физико-геологические явления и применяемые для борьбы с ними мероприятия. Результаты наблюдений записываются в полевой книжке под соответствующим номером, а важнейшие из них сопровождаются зарисовками и фотографированием объектов съемки.

Гидрогеологическое значение зоны аэрации определяется ее геологическим строением и мощностью, составом пород и гидрогеологическими свойствами слагающих ее отложений, а также содержанием и распространением в ней воднорастворимых минералов. Поэтому перечисленные характеристики являются важнейшими объектами изучения в зоне аэрации при гидрогеологической съемке.

Несмотря на важное гидрогеологическое значение зоны аэрации, главным предметом изучения и картирования при гидрогеологической съемке служит нижележащая водонасыщенная зона, в толще пород которой с соответствующей масштабу съемки детальностью изучаются подземные воды (естественные проявления и каптажи их), водоносные и водоупорные геологические образования. При этом подземные воды подвергаются всестороннему изучению, а геологические образования, тектоника и неотектоника — только с гидрогеологической точки зрения. Геологические образования изучаются в части фациальных литологических особенностей, растворимости в воде, скважности и водопроницаемости, обуславливающих их коллекторские свойства. Тектоника и неотектоника рассматриваются в отношении их влияния на трещиноватость пород, на условия залегания водоносных и водоупорных толщ, на форму и размеры бассейнов подземных вод, на режим их питания и разгрузки.

Обследование и опробование водопунктов — важнейшие этапы гидрогеологического их изучения в процессе съемки. При этом тщательному обследованию подлежат как естественные водопрооявления, дающие представление о подземных водах зоны дренирования, так и различного рода каптажные сооружения (колодцы, шурфы, скважины и др.) и горные выработки, которые могут характеризовать и более глубоко залегающие подземные воды.

Естественные водопрооявления дают наиболее правильное представление о подземных водах зоны дренирования, поэтому они должны тщательно изучаться при съемке. При обследовании естественных водопрооявлений указывают их тип, формы и размеры выхода подземных вод, а также прозрачность, цвет, запах, вкус, температуру, величину минерализации, выделение тех или иных газов и минеральных образований. Выделяют водопрооявления с пресной, солоноватой и соленой водой, холодные и термальные, газирующие и негазирующие, нисходящие и восходящие. Основные сведения заносят в учетную карточку родника по установленной форме [5, 6]. Подробно описывают условия водопрооявлений и связь их с поверхностными водоемами, дренирующими понижения-

ми, трещинами, тектоническими нарушениями, стратиграфическими контактами и гидрометеорологическими факторами. В районах развития мерзлых пород оценивается связь источников с таликами, описываются наледи, их размеры, состояние, разрез, связь с подземными и поверхностными водами.

Описание водопроявлений (источников) в полевом дневнике ведется по единой схеме примерно в такой последовательности: номер источника, его местоположение и высота участка выхода по отношению к дренам, водотокам и геоморфологическим элементам местности и рельефу; характер и тип источника, его приуроченность к тому или иному водоносному горизонту; геолого-литологическая характеристика горизонта; характер выхода воды; дебит водопроявления, физические свойства и химический состав воды (если химический анализ осуществляется на месте); газопроявления, радиоактивность и наличие химических отложений; характер каптажа; режим и использование вод источника.

Примерно по такой же схеме ведется обследование и описание и других типов водопунктов (колодцев, скважин, шурфов и т. п.).

При обследовании действующих водозаборов необходимо дополнительно выяснить источники водоснабжения, характер водозаборных сооружений, их расположение, режим работы, качество воды, данные об изменении уровней и дебита во времени и другие сведения.

Для количественной оценки изучаемых водопроявлений определяется их расход. Простейший способ определения расхода естественных водопроявлений — установка водосливных лотков (треугольной, трапецеидальной или прямоугольной формы) и водоотлив ручным или механизированным способом из искусственно устраиваемых водосборников. Опробование колодцев и скважин проводится с помощью откачек ручным или механизированным способом. Результаты обследования и опробования водопунктов отражаются в специальных учетных карточках источников, колодцев, шурфов и скважин.

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

Данные гидрологических наблюдений используются для ориентировочной оценки естественных ресурсов подземных вод, для характеристики условий их питания и разгрузки. Гидрологические наблюдения проводятся на реках, ручьях, озерах, водоемах, болотах, заболоченных массивах, оросительных и осушительных каналах. При их изучении устанавливают следующие данные: размеры и глубину водотока и водоема, литологический состав и водоносность пород, слагающих дно и берега водотока и водоема; режим поверхностных вод; расход поверхностных вод на различ-

ных участках водотока, физические свойства и химический состав вод; определение мест подтока подземных вод (субаквальные источники и др.) по изменению температуры, минерализации поверхностных вод и по увеличению расхода водотока.

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

Геоботанические наблюдения служат одним из вспомогательных методов гидрогеологического картирования. Материалы таких наблюдений позволяют выявлять участки с наиболее близким залеганием уровня грунтовых вод от поверхности и границы между поверхностными образованиями различного состава. Кроме того, они облегчают дешифрирование аэрофотоматериалов. Наибольший эффект эти наблюдения дают в засушливых и заболоченных районах, а также в районах многолетней мерзлоты (3, 5, 7).

В качестве геоботанических критериев гидрогеологических условий используются как отдельные виды растений, так и закономерные сочетания растений — растительные сообщества, которые получили название *гидроиндикаторов*. Наиболее надежными гидроиндикаторами являются растительные сообщества. Гидроиндикаторы подразделяются на *прямые* и *косвенные*.

К прямым гидроиндикаторам относятся растительные сообщества, образованные растениями, корневая система которых достигает грунтовых вод или вод капиллярной каймы, залегающих над водоносным горизонтом (саксаул, тугай, тростники, чий и др.).

Косвенными гидроиндикаторами являются сообщества, образованные растениями, существующими за счет использования влаги атмосферных осадков. Эти растения указывают на определенную геоморфологическую обстановку и соответствующий состав пород и позволяют косвенно судить о гидрогеологических условиях (полюны, типчак, эфемеры, мхи и другие растения).

Геоботанические наблюдения в засушливых областях позволяют выявить участки с различными глубинами залегания подземных вод, дать прогноз о качестве вод, показать границы между некоторыми литологическими разностями пород, определить площади питания линз пресных вод.

Геоботанические наблюдения дают значительный эффект для расшифровки гидрогеологических особенностей и в других ландшафтно-климатических обстановках. Так, например, в районах развития болот и заболоченных массивов по характеру растительности можно установить тип водного питания болот (сфагновые мхи — атмосферное питание; осока, ольха — грунтовое), выходы родников (по наличию рош) и другие гидрогеологические показатели.

Современный этап применения геоботанических методов характеризуется все более широким использованием растительных индикаторов при гидрогеологическом картировании, а также для выявления зон развития процессов засоления и рассоления, ополз-

невых и селевых явлений, количественной оценки изменения влажности, учета расходования воды на транспирацию и решения других задач, в которых растительность рассматривается как активный и важный компонент водонасыщенных пород [3, 8].

Геокриологические (мерзлотные) наблюдения проводятся с целью изучения закономерностей распространения и особенностей мерзлых пород, влияния мерзлоты на гидрогеологические условия картируемой территории, физико-геологических явлений, связанных с промерзанием и оттаиванием пород [6, 12]. При этом фиксируются состояние и свойства мерзлых пород, криогенные и посткриогенные явления (наледь, бугры пучения, талики, термоабразия, солифлюкция и др.).

Описание разреза многолетнемерзлых пород в обнажениях, выработках и т. п. проводятся, как обычно, послойно сверху вниз. Наиболее тщательно изучают льдистость и особенности строения мерзлой породы, обусловленные формой, размером и залеганием линз, прослоек, прожилок, корок и гнезд льда. Устанавливается мощность сезоннопромерзающего и сезоннооттаивающего слоя. Кроме того, в горных выработках осматриваются ледяные натеки, образующиеся на стенках в результате замерзания подземных вод. Проводятся замеры температур воды, льда и пород. Отбираются пробы воды и льда на химические анализы, чтобы выяснить, за счет каких вод образовался лед (подмерзлотных, межмерзлотных, надмерзлотных, конденсационных или атмосферных). Изучение мерзлых пород сопровождается также отбором образцов пород, которые необходимо сохранять в мерзлом состоянии до момента их исследования.

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

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

При описании бугров пучения, образование которых обычно связано с промерзанием надмерзлотных, реже подмерзлотных

вод, следует указывать их тип и вид, форму образования и размеры, ориентировку бугров пучения (их расположение помогает установлению направления движения грунтового потока), степень отсортированности материала на поверхности бугра, наличие трещин, их ориентировку и размер, характер растительности и ее распределение, глубину сезонного промерзания или оттаивания в разных частях бугра (при помощи шурфования), взаимосвязь деятельного слоя и толщи многолетнемерзлых пород, наличие в бугре напорных вод, условия их питания и т. д. (детально о специфике мерзлотных исследований см. в гл. XIX).

Инженерно-геологические наблюдения. При гидрогеологической съемке они осуществляются попутно, начиная с этапа изучения материалов прежних исследований. Задачами инженерно-геологических наблюдений являются сравнительное изучение прочностных, водно-физических и фильтрационных особенностей горных пород, протекающих в них инженерно-геологических процессов и физико-геологических явлений предварительная оценка общих инженерно-геологических условий изучаемой территории. Объектами наблюдений служат горные породы, физико-геологические процессы, инженерно-геологические явления, геоструктурные, геоморфологические, гидрогеологические, климатические и другие условия и факторы, которые рассматриваются в инженерно-геологическом аспекте [3—8].

Следует отметить, что к государственным гидрогеологическим съемкам, осуществляемым в районах, перспективных для мелиоративного их освоения, и в густонаселенных районах с интенсивным развитием различных видов строительства, предъявляются повышенные требования в отношении инженерно-геологического изучения и оценки картируемых территорий. В таких условиях должна проводиться комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка, выполняющая вместе с тем все задачи общей гидрогеологической съемки.

Бурение и шурфование. При гидрогеологической съемке закрытых территорий одним из основных способов изучения и картирования гидрогеологических условий служит бурение. В зависимости от задач, решаемых при помощи бурения, оно подразделяется на *поисковое* и *картировочное*.

В задачу поискового бурения входит выяснение водоносности всех геологических образований и структур, развитых на картируемой территории в пределах изучаемой глубины, а также качества находящихся в них подземных вод и их гидрохимической зональности. Поэтому глубина поискового бурения определяется положением в разрезе границ тех гидрохимических зон, которые изучаются при гидрогеологической съемке рассматриваемых масштабов.

Поскольку химический состав и зональность подземных вод могут зависеть от физико-географических и фациально-литологических условий, а последние в свою очередь от палеогеографиче-

ской и тектонической обстановок, то поисковое бурение должно осуществляться в средних и периферических частях различных ландшафтов и структур, по линиям поперечников, пересекающих их вкрест простирания. Количество таких поперечников, по которым строятся региональные гидрогеологические разрезы, и количество скважин в каждом поперечнике обуславливаются количеством и сложностью строения региональных геологических структур и ландшафтов. Каждая такая структура должна быть пересечена как минимум одним поперечником, по линии которого задается не менее трех скважин — одна в осевой и две в периферических частях структуры.

В задачу картировочного бурения входит изучение гидрогеологического разреза всех встречающихся в районе тектонических структур и типов рельефа до картируемой при данном масштабе глубины с разработкой гидрогеологической стратификации, соответствующей масштабу съемки, а также прослеживание выделенных водоносных толщ с выяснением их водообильности и взаимосвязи, глубин залегания, напоров и качества движущихся в них подземных вод.

Картировочные скважины, как и поисковые, располагают по поперечникам вкрест простирания тектонических структур, а также современного и погребенного рельефа, на различных их элементах и в местах сопряжения последних. Местоположение и количество таких поперечников и картировочных скважин на каждом из них намечаются в зависимости от сложности геологического строения, количества пройденных ранее скважин, тектоники и рельефа, выдержанности фациально-литологических особенностей и других картируемых характеристик водоносных толщ и подземных вод.

Картировочное бурение рекомендуется начинать на ключевых участках, с наиболее полным и четким (опорным) гидрогеологическим разрезом, который является опорным при картировании.

Отдельными картировочными скважинами может быть пройден или весь гидрогеологический разрез картируемой зоны, или какой-то его интервал, а другими скважинами — выше- и нижележащие интервалы с таким расчетом, чтобы проходимые отдельными скважинами интервалы частично заходили бы один за другой и в совокупности освещали весь картируемый гидрогеологический разрез.

Эффективность поискового и картировочного бурения зависит не только от глубины скважин, но и от способа их проходки и конструкции, а также от качества документации и опробования. В каждой поисковой и картировочной скважине должны быть установлены: 1) последовательность и глубина залегания пройденных пластов горных пород (без пропусков), их литологические особенности, мощность и водоносность; 2) характер и степень скважности (пористость, кавернозность, трещиноватость, закарстованность) пройденных пород и ее распределение в вер-

тикальном направлении; 3) фациально-литологические особенности вскрытых водоносных горизонтов, их мощность и глубина залегания, появление и установившиеся уровни воды; 4) дебиты скважин для различных водоносных горизонтов при наибольшем возможном понижении уровня, фильтрационные свойства и качество воды.

К картировочному относится также мелкое зондировочное бурение, которое применяется главным образом для изучения и картирования зоны аэрации и грунтовых вод. Зондировочное бурение используется для обнаружения и прослеживания некоторых неглубоко залегающих горизонтов пород ниже уровня грунтовых вод. Оно широко применяется для выяснения и прослеживания глубины залегания уровня грунтовых вод на различных формах и элементах рельефа, сложенных рыхлыми или пластичными породами. Скважины располагают по линиям поперечников, задаваемых вкрест простираения пород на различных формах рельефа. Глубина зондировочных скважин обуславливается и контролируется положением уровня грунтовых вод или прослеживаемых горизонтов водоносных и водоупорных пород.

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

После соответствующего оборудования скважин для изучения подземных вод проводится качественное и количественное опробование вскрытых водоносных горизонтов.

Шурфы, канавы и расчистки используются для изучения зоны аэрации, прослеживания контактов и источников, изучения мерзлоты, проведения опытно-фильтрационных и других опытно-полевых исследований и отбора монолитов для дальнейшего их лабораторного изучения.

Опытно-фильтрационные работы. Для оценки водообильности и фильтрационных свойств водоносных горизонтов в процессе гидрогеологической съемки выполняются различные полевые и лабораторные опытно-фильтрационные работы: откачки из колодцев, шурфов и скважин, наливов и нагнетания в скважины, экспресс-методы, опережающее опробование водоносных горизонтов. Для определения коэффициента фильтрации безводных пород зоны аэрации применяются опытные наливов в шурфы, скважины и лабораторные определения с помощью фильтрационных трубок (КФ-00, КФЗ и др.). Эффективным методом послойного определения фильтрационных свойств пород, вскрываемых в процессе бурения поисковых и картировочных скважин водоносных горизонтов, является разработанный ВСЕГИНГЕО метод опережающего опробования водоносных толщ с помощью специального фильтра-опробователя. Этот метод обеспечивает получение сравнительной характеристики фильтрационных свойств всех вскры-

ваемых и обнаруживаемых при бурении скважин песчаных водоносных горизонтов без обсадки их трубами и удаления глинистого раствора.

В результате выполнения опытно-фильтрационных работ в процессе съемки должны быть получены сравнительные фильтрационные характеристики всех картируемых водоносных толщ и фациально-литологических разновидностей их в различных условиях залегания и рельефа (от областей питания и зоны аэрации до областей максимального их погружения в пределах картируемой территории).

Методика проведения различных видов опытно-фильтрационных работ описана в гл. IV и детально изложена в специальных методических руководствах.

Наблюдения за режимом подземных вод. Цель этих наблюдений при съемке — установить общие закономерности изменения режима подземных вод (уровня, температуры, дебита, химического состава и др.) во времени в зависимости от воздействия различных природных факторов (климатических, гидрогеологических, гидрологических, геоморфологических, геологических и др.) и в результате хозяйственной деятельности человека. Продолжительность наблюдений определяется длительностью проведения съемочных работ и обычно ограничивается одним-двумя годами, поэтому по таким результатам можно получить лишь предварительные представления о режиме, балансе и условиях формирования подземных вод и наметить режимную сеть для стационарных наблюдений.

Содержание наблюдений за режимом подземных вод определяется их целевой направленностью и видом гидрогеологической съемки. При проведении общей гидрогеологической съемки изучается преимущественно режим первого от поверхности водоносного горизонта. Более сложные задачи ставятся перед такими наблюдениями при проведении специальной гидрогеологической съемки (изучение режима нескольких водоносных горизонтов, в том числе и глубокозалегающих, их взаимосвязи как между собой, так и со смежными водоносными горизонтами и с поверхностными водами, оценка возможности загрязнения подземных вод и др.).

Результаты выполняемых наблюдений оформляют в виде таблиц, различных хронологических графиков, карт в изолиниях и т. д. Более детальные сведения о стационарных гидрогеологических наблюдениях приведены в гл. V.

Геофизические исследования. Эффективно применяются при гидрогеологической съемке закрытых и полузакрытых территорий и документации поисково-картировочных скважин посредством каротажа. Они позволяют более рационально разместить и значительно сократить объемы буровых и горных работ, а также обойтись меньшими затратами материально-технических средств и в более короткие сроки завершить полевые съемочные работы.

При этом обеспечивается более обширная и достаточно объективная информация об особенностях геологического строения и гидрогеологических условий изучаемой территории. Это значительно повышает качество и эффективность гидрогеологической съемки. Следует учитывать, что эффективность съемки может увеличиться только при тесной увязке гидрогеологических и геофизических исследований.

Геофизические работы должны входить составной частью в комплекс других методов съемки. Полученные при их выполнении материалы используются для разрешения конкретных геолого-гидрогеологических задач, выполняемых в определенной последовательности. Причем в закрытых районах они, как правило, должны предшествовать поисковому и картировочному бурению, опережая его на один-два месяца.

В зависимости от характера решаемых задач геофизические работы могут выполняться в виде *площадной* или *профильной* съемок. Площадная съемка проводится тогда, когда по результатам геофизических работ составляются гидрогеофизические карты по какому-либо геолого-гидрогеологическому параметру. Съемка по профилям выполняется главным образом при необходимости выяснения тех или иных деталей геологического строения или гидрогеологических условий по определенному направлению, полосе (например, при картировании тектонических разломов, при определении оптимальных геолого-гидрогеологических условий для заложения поисково-разведочных скважин и др.).

Применение геофизических методов в геологии и в гидрогеологии основано на выявлении зависимостей физических свойств горных пород от их геологических и гидрогеологических особенностей, а также их параметров и характеристик. Эти зависимости можно установить только в пунктах соприкосновений геологических и геофизических данных. В закрытой местности такими пунктами являются скважины, шурфы и другие вертикальные выработки и проведенные в непосредственной близости с ними (не далее 1—10 м) геофизические наблюдения. Выработки называются *параметрическими* (опорными). В этом смысле все выработки, выполненные во время гидрогеологической съемки, должны быть параметрическими. Они могут служить средством связи результатов геофизических работ с геологическими данными и позволяют интерполировать и экстраполировать по профилям и по площади те или иные особенности геологического строения и гидрогеологических условий изучаемой территории.

Геофизические исследования должны проводиться по тем же профилям, что и поисково-картировочное бурение при гидрогеологической съемке. Скважины и другие картировочные выработки должны задаваться только после получения предварительной геофизической информации о разрезе и обязательно совмещаться с точкой геофизических наблюдений. Последние в свою очередь

должны быть привязаны к опорным параметрическим скважинам.

Опыт применения геофизических методов при гидрогеологическом съемочных работах на закрытых территориях показывает, что при помощи этих методов могут решаться следующие задачи: 1) определение мощности и литологическое расчленение рыхлых отложений и составление структурных карт по кровле или подошве выделенных комплексов; 2) определение глубин залегания дочетвертичных отложений с оценкой их литологических особенностей; 3) выявление характера и направления фациальных изменений осадочных отложений способом ВЭЗ в сочетании с бурением опорных скважин на картируемой площади; 4) местоположение разломов сбросово-взбросового характера и элементов их залегания; 5) оконтуривание зон закарстованности, скрытых под толщей более молодых отложений; 6) определение конфигурации ложа дочетвертичных пород в сухих речных долинах и саях; 7) оценка пористости пород; 8) определение влажности суглинистых пород; 9) определение глубин залегания первого от поверхности водоносного горизонта с составлением схематических карт гидроизобат и гидроизогипс; 10) определение минерализации подземных вод в пределах заданных глубин с составлением карты минерализации; 11) картирование линз пресных вод, залегающих среди соленых; 12) установление движения подземных вод по зонам разломов в скальных породах, перекрытых более молодыми рыхлыми образованиями; 13) оконтуривание зон распространения наиболее обводненных пород; 14) определение направления, скорости движения и скорости фильтрации подземных вод в рыхлых скальных породах.

По проведенным геофизическим исследованиям должен составляться отчет. Он может быть представлен отдельно или в виде раздела в общем отчете по съемке, в котором помимо основных выводов по существу решаемых задач должны даваться рекомендации по комплексу геофизических методов и методик для решения гидрогеологических задач в процессе проведения разведки на перспективных площадях, выводы о геолого-гидрогеологической и экономической эффективности выполненного комплекса геофизических работ.

Геофизические исследования, осуществляемые непосредственно в скважинах, используются для повышения информативности и качества геолого-гидрогеологической документации поисково-картировочных скважин, литологического и гидрогеологического расчленения их разреза, проверки их технического состояния, определения пористости, влажности и других важных показателей. Для этих целей применяют различные виды каротажа скважин (электрокаротаж, кавернометрию, инклинометрию, термокаротаж, резистивиметрию, радиоактивный каротаж и др.).

Более детально возможности решения гидрогеологических задач геофизическими методами исследований описаны в гл. VIII и специальной литературе.

Гидрохимические и радиогидрогеологические исследования.

Гидрохимические исследования при съемке проводятся как в целях выявления гидрогеохимических особенностей подземных вод и оценки их качества (см. ниже лабораторные работы), так и в целях оценки перспективности картируемых площадей на рудные и нерудные полезные ископаемые (нефть, газ, соли, и др.). Гидрохимические исследования поискового характера особенно целесообразны в горно-складчатых районах (на свинец, цинк, ртуть, медь, золото, германий, гелий, соли), а также на участках, где химический состав подземных вод и геолого-структурные условия свидетельствуют о возможном наличии того или иного полезного ископаемого.

Радиогидрогеологические исследования обязательны при гидрогеологических съемках всех масштабов и проводятся с целью качественной оценки подземных вод и территории на радиоактивность, выявления радиогидрогеологических и радиометрических аномалий и закономерностей распространения в подземных водах радиоактивных элементов (урана, радия, радона). Эти исследования включают опробование объектов наблюдения на радиоактивность, отбор проб воды и образцов пород для определения в них содержания радиоактивных элементов, радиометрические поиски урана и интерпретацию выполненных наблюдений (более детально радиогидрогеологические исследования рассмотрены в §4 гл. VIII).

Лабораторные работы. Некоторые виды лабораторных исследований выполняются в период полевых работ как непосредственно в полевой обстановке, так и на базе гидрогеологической партии. Их задачей является установление физических свойств и химического состава вод, минерального и гранулометрического состава, а также некоторых физических и водных свойств пород. Эти данные позволяют более целеустремленно вести гидрогеологическую съемку и предварительно оценить ее практические результаты в процессе полевых исследований.

Для изучения химического и газового состава подземных вод выполняются полевые, сокращенные, полные и специальные химические анализы. Первые три типа анализов применяются в основном для оценки качества подземных вод, а специальные (в том числе и спектральный анализ сухого остатка) — для выявления гидрогеохимических ореолов рассеяния, металлогенических особенностей картируемой территории и решения других специальных задач.

Качественному опробованию обязательно подлежат все зафиксированные при съемке водопункты. Отбор проб осуществляется в таких местах и в таком количестве, которое позволяет выявить и охарактеризовать существующие закономерности изменения качества подземных вод по картируемым водоносным толщам в плане и в разрезе с учетом воздействия различных естественных и искусственных факторов.

Выполненные анализы должны обеспечивать оценку качества различных типов подземных вод как полезных ископаемых, выявление закономерностей формирования подземных вод и их гидрохимической зональности; оценку возможного отрицательного влияния подземных вод на различные инженерные сооружения, оборудование и мелиоративное состояние земель, выявление перспектив изучаемых территорий на различные виды твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых (см. гл. VI).

Камеральные работы. Завершающим этапом гидрогеологической съемки являются камеральные работы, окончательная обработка материалов всех выполненных исследований. В это время осуществляются различного рода увязки и обобщения, составляется комплекс необходимых карт и разрезов, а также окончательный отчет по выполненной гидрогеологической съемке. Отчет составляется в соответствии с существующими методическими и инструктивными материалами [4—8].

§ 4. Гидрогеологические карты

Гидрогеологические карты являются основной формой графического изображения результатов гидрогеологической съемки.

Они должны отражать распространение, последовательность, условия и глубину залегания, а также качественные и количественные характеристики всех выделяемых в соответствии со стратификационной схемой водоносных толщ и водопоров в пределах заданной глубины картирования.

В зависимости от сложности природных условий, глубины и детальности картирования составляются совмещенные или расчлененные гидрогеологические карты, на которых соответственно показывается несколько или один из выделяемых водоносных комплексов (горизонтов). Совмещенные карты обычно составляют для отдельных структурных ярусов, для пород четвертичного и дочетвертичного возрастов. Этажность расположения водоносных комплексов (горизонтов) отображают методом «просвечивания» (рис. 1), построением карт-срезов, линиями контуров и т. п. [3].

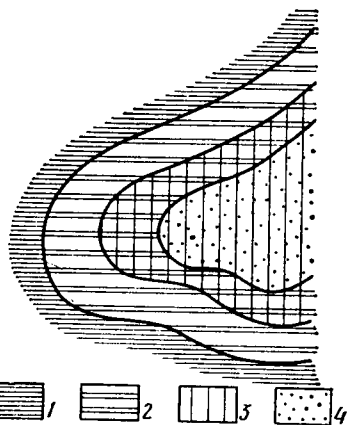


Рис. 1. Схема отображения этажности водоносных комплексов (горизонтов) методом «просвечивания» (по А. М. Овчинникову):

1 — водоупорные докембрийские отложения; водоносные комплексы отложений: 2 — девонских, 3 — каменноугольных, 4 — пермских

Гидрогеологические карты составляются в окончательном виде на основе полевых карт, среди которых основными являются карты

фактического материала, водопунктов и расчлененные или совмещенные гидрогеологические карты, а вспомогательными — геоморфологические, геологические, ландшафтно-индикационные и другие.

Гидрогеологические карты разделяются: по масштабу на *обзорные* (1:1 000 000 и мельче), *мелкомасштабные* (1:500 000 — 1:1 000 000), *среднемасштабные* (1:200 000 — 1:100 000), *крупномасштабные* (1:50 000 и крупнее); по назначению и содержанию на *общие* и *специальные*; по способу графического оформления на *совмещенные* и *расчлененные* (см. выше); по обоснованности фактическим материалом на *кондиционные* и *некондиционные*. Требования к гидрогеологическим картам и иллюстрирующим их профилям соответствующих масштабов (кондиции) указываются в специальных инструкциях и руководствах [1, 4—8]. В общем случае картографические материалы с пояснительной запиской должны обеспечивать решение всех задач, поставленных перед гидрогеологической съемкой соответствующего масштаба (см. § 1 настоящей главы).

Единой методики составления гидрогеологических карт не существует. Наибольшим распространением на практике пользуется стратиграфо-гидрогеологический принцип картирования. На этих картах цветом показывается распространение основных водоносных горизонтов, комплексов и водоупоров в соответствии с их литолого-стратиграфическим положением. Остальные сведения отображаются с помощью различных условных обозначений.

В соответствии с методическими указаниями, разработанными ВСЕГИНГЕО, составляются листы государственной гидрогеологической карты масштаба 1:200 000. Согласно этой методике на гидрогеологических картах масштабов 1:1 000 000—1:500 000, 1:200 000—1:100 000 и 1:50 000 рекомендуется отображать следующие данные [1, 6, 8, 12]:

1. По площади — распространение картируемых водоносных горизонтов (комплексов) и безводных водопроницаемых пород с указанием их возраста (показ цветом и цветной горизонтальной штриховкой), а также минерализации первого от поверхности земли водоносного горизонта (комплекса) в изолиниях или крапом. Крапом изображается минерализация (сухой остаток) в градациях: до 0,1; 0,1—0,5; 0,5—1,0; 1—3; 3—5; 5—7; 7—10; 10—15; 15—35 и более 35 г/л.

2. В точках — водопункты с указанием их номера, дебита в л/с, величины понижения уровня воды в м, глубины до воды в скважинах и колодцах в м, минерализации в г/л, геологического индекса водовмещающих пород, химического состава воды (цветом внутри значка водопункта).

3. Линиями — границы распространения водоносных горизонтов, залегающих ниже первого от поверхности, и гидроизогипсы грунтовых вод; стрелками — направление движения подземных вод.

Дополнительно на гидрогеологических картах могут показываться площади распространения многолетней мерзлоты, таликов, линз пресных вод, участки проявления карста, верховодки, оползней и другая информация.

Карты сопровождаются гидрогеологическими разрезами, на которых отображаются особенности геологического строения, литолого-фациальные изменения и гидрогеологические условия по определенным профилям, ориентированным так, что на них наиболее полно отражаются условия залегания, распространения, питания, разгрузки и взаимоотношение по возможности всех или наибольшего количества картируемых водоносных горизонтов и комплексов.

В качестве иллюстрационных материалов дополнительно представляются карты пьезоизогипс, глубин залегания подземных вод, водообильности, водопроницаемости, ресурсов подземных вод, гидрогеологического районирования по условиям водоснабжения и мелиоративного освоения территории, ландшафтно-индикационная, геоморфологическая, строения зоны аэрации, рельефа кровли и подошвы водоносных горизонтов и водоупоров, радиогидрогеологического опробования, гидрохимические и другие специальные карты, методика составления которых выбирается с учетом конкретных особенностей картируемой территории.

Методика Всесоюзного геологического института (ВСЕГЕИ), основанная на выделении и показе распространения водоносных комплексов (горизонтов) по типам формирующихся в них подземных вод (пластовых, трещинно-пластовых, трещинно-жильных и др.), получила меньшее распространение.

Методика составления специальных гидрогеологических карт в каждом конкретном случае определяется прежде всего содержанием и целевым назначением карт. Поскольку содержание и задачи специализированных карт разнообразны, единой методики их составления, как уже говорилось, не существует. Однако при составлении специализированных гидрогеологических карт необходимо следовать основному правилу — цветом показывать основные гидрогеологические элементы или факторы, предопределяющие решение поставленных задач. Последовательность применения других знаков выбирается с учетом обеспечения наглядности гидрогеологических данных, степени их важности и целевого назначения карты. Примеры и показательные макеты общих и специализированных гидрогеологических карт приведены в специальных руководствах [5, 9].

Мелкомасштабные и в меньшей мере среднемасштабные общие гидрогеологические карты широко используются для теоретических обобщений, перспективного планирования гидрогеологических и других видов исследований, составления генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов и народнохозяйственного освоения отдельных территорий, построения различного рода сводных обзорных карт по территории СССР в

целом и по отдельным крупным его регионам, для гидрогеологического районирования территорий и решения многих других задач.

Средне- и крупномасштабные гидрогеологические карты используются, главным образом, как надежная основа для текущего и перспективного планирования дальнейших гидрогеологических и других видов геологоразведочных работ, для гидрогеологического и технико-экономического обоснования разнообразных водохозяйственных мероприятий и строительства инженерных сооружений, для оценки естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод, для уточнения гидрогеологического районирования и решения многих других специальных задач.

Прекрасными примерами сводных обзорных гидрогеологических карт и выполнения гидрогеологического районирования служат карты, сопровождающие монографическое описание территории СССР различных регионов. В основу составления этих карт положен огромный фактический материал по подземным водам, в том числе и результаты мелко- и среднемасштабного картирования территории СССР. Масштаб составленных для различных регионов гидрогеологических карт изменяется от 1 : 2 500 000 до 1 : 500 000.

На основе обзорных гидрогеологических карт регионов и обобщения материалов региональных исследований составлены сводная общая гидрогеологическая карта территории СССР в масштабе 1 : 5 000 000 и широтный гидрогеологический разрез, построенные на единой стратификационной схеме гидрогеологического расчленения изученного геологического разреза, карта модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод (масштаб 1 : 5 000 000), обзорные карты минеральных и термальных вод СССР (масштаб 1 : 2 500 000), карта грунтовых вод европейской части Союза ССР и другие обзорные гидрогеологические карты.

Материалы регионального гидрогеологического изучения и мелкомасштабные гидрогеологические карты и карты общего гидрогеологического районирования территорий (районирование по геоструктурному принципу и общности гидрогеологических условий) широко используются для региональных оценок и специального гидрогеологического районирования (районирование территорий по отдельным гидрогеологическим признакам или их совокупности применительно к решению специальных народнохозяйственных задач) территории СССР или отдельных его частей по условиям водоснабжения, применения вертикального дренажа, подземного захоронения промышленных стоков, искусственного пополнения запасов подземных вод и других целей.

Региональные гидрогеологические карты и монографические описания гидрогеологических условий территории СССР имеют большую народнохозяйственную ценность. Достаточно отметить, что все дальнейшие гидрогеологические исследования и изыскания для решения разнообразных задач в любом районе территории нашей страны можно проводить более плодотворно и целенаправ-

ленно на основе рабочей гипотезы, обоснованной материалами выполненных исследований. В какой-то мере созданы условия для исключения повторных исследований. Все это обеспечивает твердую основу для осуществления дальнейших гидрогеологических исследований и изысканий на качественно новом и более высоком научно-техническом уровне.

ГЛАВА III

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Наиболее важным и надежным методом изучения гидрогеологических условий является бурение скважин и их гидрогеологическое опробование. Ежегодно в нашей стране сооружаются десятки тысяч разнообразных гидрогеологических скважин: поисковых, разведочных, разведочно-эксплуатационных, наблюдательных, водозаборных, дренажных, нагнетательных и др. В процессе сооружения, опробования и документации таких скважин обеспечивается получение ценной информации о геолого-гидрогеологических условиях изучаемых площадей, о месторождениях подземных вод, их особенностях и условиях рационального народнохозяйственного освоения и использования. Объем и достоверность получаемой в процессе бурения и опробования скважин гидрогеологической информации во многом зависят от правильного и обоснованного выбора способа бурения и конструкций гидрогеологических скважин, качества гидрогеологической документации буровых работ и опробования, надежности изоляции водоносных горизонтов, технической подготовки скважин и горизонтов к испытаниям и других факторов геолого-технического характера.

Многие из перечисленных вопросов достаточно детально рассматриваются в курсе «Бурение», поэтому в настоящей главе кратко изложены лишь основные требования, предъявляемые к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин, охарактеризованы гидрогеологические наблюдения при бурении скважин и проведении горных работ и даны краткие сведения о технических средствах и приборах, применяемых при гидрогеологических исследованиях. Основные методы гидрогеологического опробования скважин детально рассмотрены в гл. IV.

§ 1. Основные требования к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин

Требования к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин во многом зависят от целевого назначения (категории) сооружаемых скважин, геолого-гидрогеологических особенно-

стей изучаемого района, технико-экономических условий бурения скважин и специфики их последующего использования. В общем случае эти требования должны обеспечивать получение необходимого объема достоверной гидрогеологической информации, качественное опробование изучаемых водоносных горизонтов и выполнение остальных функций гидрогеологической скважины в соответствии с ее целевым назначением при минимально возможных затратах труда, времени и средств.

Категории гидрогеологических скважин. По целевому назначению выделяют следующие основные категории гидрогеологических скважин: 1) поисковые, 2) разведочные, 3) разведочно-эксплуатационные, 4) наблюдательные, 5) эксплуатационные (водозаборные, дренажные, нагнетательные, поглощающие и др.). Для выполнения гидрогеологических задач в процессе поисков и разведки подземных вод используются преимущественно скважины первых четырех категорий. Эксплуатационные скважины предназначаются для эксплуатации подземных вод, их удаления, регулирования и других целей.

Поисковые скважины бурятся на стадии поисков и в процессе поисково-съемочных работ. Они предназначены для изучения общих геолого-гидрогеологических условий, выявления водоносных горизонтов и комплексов, их прослеживания и предварительного количественного и качественного опробования (отбор проб, пробные откачки, экспресс-опробование и пр.).

Разведочные скважины проходятся в процессе разведки перспективных участков месторождений подземных вод в целях их более детального гидрогеологического изучения и выявления условий народнохозяйственного использования или освоения. В разведочных скважинах выполняется большой комплекс гидрогеологических и других видов исследований (опытные и опытно-эксплуатационные откачки, наливы, нагнетания; отбор проб пород, воды и газа; расходометрические, термометрические, геофизические и другие наблюдения). Для обоснованного геолого-гидрогеологического расчленения разреза поисковых и разведочных скважин в них осуществляется отбор керна, выполняется комплекс каротажных методов и необходимый комплекс гидрогеологических наблюдений.

Разведочно-эксплуатационные скважины сооружаются в процессе разведочных работ и после проведения на них полного комплекса гидрогеологических и других видов исследований (т. е. выполнения функций разведочной скважины), они передаются для использования при последующей эксплуатации месторождения. Естественно, что конструкции таких скважин должны обеспечивать нормальную многолетнюю и непрерывную их эксплуатацию.

Наблюдательные скважины могут закладываться на любой из стадий поисково-разведочных работ и в зависимости от назначения использоваться либо для наблюдений за режимом подземных вод в период их разведки и эксплуатации (наблюдения за

естественным или нарушенным режимом), либо для наблюдений за изменением показателей подземных вод (уровня, химического состава, температуры и др.) в процессе проведения опытных гидрогеологических работ (откачек, наливов, нагнетаний, индикационных измерений и др.).

В процессе проведения поисково-разведочных работ и эксплуатации подземных вод может возникать необходимость использования поисковых скважин в качестве разведочных, поисковых и разведочных в качестве наблюдательных и т. д. Возможность такого перевода скважин из одной категории в другую следует предусматривать при проектировании разведочных работ. Это может существенно повысить их геологическую и экономическую эффективность.

Таким образом, даже общее рассмотрение задач и назначения отдельных категорий скважин показывает необходимость их обязательного учета при выборе способа бурения и конструкций гидрогеологических скважин.

Способы бурения гидрогеологических скважин. Способы бурения гидрогеологических скважин выбираются в зависимости от местных геолого-гидрогеологических условий, целевых задач исследований, глубины и диаметра проектируемых скважин и других факторов. Данные бурения должны обеспечивать получение необходимого объема геолого-гидрогеологической информации, успешное выполнение целевых задач сооружаемой скважины и высокие технико-экономические показатели бурения и выполняемых исследований.

В последние годы требования к техническим средствам и способам бурения и оборудования гидрогеологических скважин в значительной мере стандартизированы и закреплены в ряде руководств [1, 3, 7, 10].

Для сооружения гидрогеологических скважин применяют следующие способы бурения: вращательный с прямой промывкой, вращательный с продувкой, вращательный с обратной промывкой, ударно-канатный, комбинированный, реактивно-турбинный, колонковый. Предпочтительны для проходки гидрогеологических скважин вращательный (с прямой и обратной промывкой и продувкой), ударно-канатный и комбинированные способы бурения, для сооружения глубоких скважин — вращательный (ротаторный), реактивно-турбинный, колонковый. Ниже изложены рекомендации по выбору способов бурения гидрогеологических скважин и обеспечению их оборудования.

Вращательный способ с прямой промывкой целесообразно применять при бурении гидрогеологических скважин любой глубины в хорошо изученных геолого-гидрогеологических условиях при отсутствии в разрезе часто переслаивающихся слабонапорных и малодобитных водоносных горизонтов. В процессе проходки опробуемых интервалов для отбора керна целесообразно использовать колонковые снаряды. Для опробования водоносных

горизонтов следует применять пластоиспытатели, расходомерию и каротаж (геофизические исследования проводят как в процессе бурения, так и после). Для уменьшения последствий глинизации водоносных горизонтов рекомендуется практиковать способы посадки фильтров без глинизации (гидроподмывом, эрлифтной прокачкой, ударным способом), бурение с промывкой чистой водой, слабоглинистыми естественными и аэрированными растворами, эффективные методы разглинизации и т. д. Вращательный способ бурения с промывкой обеспечивает возможность быстрого сооружения глубоких скважин, применение упрощенных их конструкций, высокие технико-экономические показатели буровых работ.

Вращательное бурение скважин с промывкой рекомендуется применять для проходки разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин глубиной до 300 м, диаметром до 1000 мм и более в рыхлых породах (без включения валунов) при глубине залегания уровня подземных вод более 3 м от поверхности, при наличии значительного количества воды для бурения и благоприятных температурных условиях (выше 0°C).

Вращательный способ бурения скважин с продувкой эффективен при сооружении скважин в безводных районах, в районах развития многолетнемерзлых пород (до глубины 200—300 м), а также в условиях развития слабоводообильных водоносных горизонтов (с дебитами скважин до 2—3 л/с). Породы разреза должны быть устойчивы против обрушения.

Ударно-канатный способ следует использовать для бурения гидрогеологических скважин в слабо изученных геолого-гидрогеологических условиях, при частом переслаивании и небольшой напорности водоносных горизонтов и необходимости проходки скважин глубиной до 100—150 м, в валунно-галечниковых отложениях и с большими начальными диаметрами. Для посадки и извлечения обсадных труб обязательны вибромеханизмы. Ударно-канатный способ обеспечивает высокое качество опробования и каптажа водоносных горизонтов, не требует доставки воды и глины, но отличается незначительными скоростями бурения и большим расходом обсадных труб.

Комбинированный способ рекомендуется применять для бурения скважин в слабо изученных геолого-гидрогеологических условиях, при частом переслаивании слабонапорных водоносных горизонтов, удовлетворительных условиях передвижения буровых установок и достаточном объеме буровых работ. Верхняя часть разреза вплоть до водоносных пород проходится вращательным (ротаторным) способом, а водоносные породы — ударно-канатным. Такая комбинация обеспечивает достаточно быстрое сооружение скважин, их удовлетворительную геолого-гидрогеологическую документацию и высокое качество работ по вскрытию и опробованию водоносных горизонтов.

Комбинированный и ударно-канатный способы наиболее целесообразно использовать при бурении разведочных, разведочно-экс-

плуатационных и эксплуатационных гидрогеологических скважин.

Реактивно-турбинный способ целесообразно использовать для бурения скважин диаметром более 1000 мм и глубиной не менее 200 м. Он характеризуется высокой скоростью проходки скважин и очень низким выходом керна, поэтому его применяют для бурения эксплуатационных и разведочно-эксплуатационных скважин на глубокие водоносные горизонты.

Колонковым способом возможна проходка гидрогеологических скважин диаметром до 200 мм в скальных породах.

Установку для бурения гидрогеологических скважин выбирают исходя из геолого-технических условий, глубины и диаметра бурения, состава пород и других факторов.

Наибольшее практическое применение имеют следующие буровые установки: для роторного бурения — УРБ-3А2, ИБА-15В, УРБ-3АМ, УРБ-3А3, УРБ-2А2, УВБ-600, УРБ-4ШМ, УКБ-5, УКБ-7 и др.; для ударно-канатного — УКС-22М, УКС-30М, КС-24; для комбинированного — УГБ-50М, ЛБУ-50М, УРБ-2А, ИБА-15К, УШ-1Т, УШ-2Т, БУУ-2 и др.; для реактивно-турбинного — установки для бурения на нефть и газ типа БУ и Уралмаш [1, 3, 11].

Требования к конструкциям и оборудованию гидрогеологических скважин. Конструкции гидрогеологических скважин определяются их целевым назначением, конечным диаметром, глубиной и способом бурения, характером разреза, способом опробования и другими факторами.

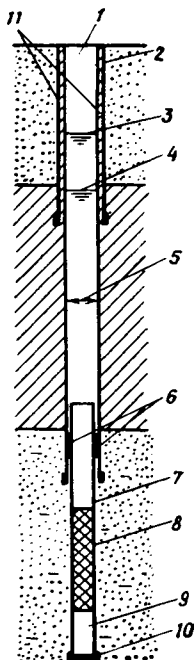
К конструкциям гидрогеологических скважин различных категорий предъявляются определенные требования. Они должны обеспечивать: 1) эффективное и безопасное проведение работ по проходке скважины и вскрытию водоносных горизонтов; 2) качественное опробование всех изучаемых водоносных горизонтов и их соответствующую изоляцию; 3) размещение в скважине водоподъемного оборудования, испытательных снарядов и измерительных приборов; 4) эффективное и качественное выполнение необходимого комплекса гидрогеологических наблюдений и исследований; 5) защиту водоносных горизонтов от загрязнений; 6) надежность и устойчивость условий использования скважины в соответствии с ее назначением; 7) возможность сооружения скважины с минимальными затратами труда, времени и средств; 8) быстрое и эффективное выполнение ремонтных и ликвидационных работ (при необходимости) и возможность повторного использования обсадных труб и фильтров.

Перечисленные требования и геолого-технические условия проходки скважин определяют конструктивные особенности отдельных категорий гидрогеологических скважин: их глубину и диаметры, количество колонн обсадных труб, их диаметры и глубины (интервалы) спуска, способ оборудования водоприемной части, методы изоляции и опробования водоносных горизонтов, устьевое и другое оборудование скважин (рис. 2).

Глубина гидрогеологических скважин определяется положением изучаемого водоносного горизонта в разрезе, его мощностью и не-

Рис. 2. Основные элементы конструкции гидрогеологической 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



обходимой глубиной его вскрытия. Небольшие по мощности водоносные горизонты (до 10—20 м), как правило, вскрываются полностью. Глубина вскрытия значительных по мощности водоносных горизонтов должна быть достаточной для обеспечения проектного дебита при опробовании и эксплуатации гидрогеологических скважин (поисково-разведочных и разведочно-эксплуатационных) и осуществления замеров при изменении уровня в наблюдательных скважинах. Если предполагается опробование скважины эрлифтом, то должны быть учтены оптимальные параметры эрлифта (спуск воздухопроводных труб должен обеспечивать коэффициент погружения не менее 1,5—2,5).

При обосновании конструкций гидрогеологических скважин определяющее значение имеет выбор эксплуатационного, конечного и начального их диаметров.

Эксплуатационный диаметр скважины (диаметр в пределах глубины установки водоподъемного оборудования) должен быть достаточным для размещения предназначенного для опробования или эксплуатации скважины насосного оборудования (обычно он принимается на 50—100 мм больше диаметра насоса).

Конечный диаметр и диаметр водоприемной части скважины зависят от принятого эксплуатационного диаметра, глубины скважины, типа и конструкции предполагаемого к установке фильтра. Конечный диаметр гидрогеологических скважин должен обеспечивать установку соответствующего фильтра, получение необходимого дебита скважины, условия ее длительной эксплуатации, а также проведение необходимых гидрогеологических наблюдений и исследований. В табл. 1 приведены значения минимальных конечных диаметров для различных категорий гидрогеологических скважин при вращательном и ударно-канатном способах их сооружения [1, 8].

Начальный диаметр бурения определяется с учетом необходимости спуска промежуточных обсадных колонн, способа изоляции водоносных горизонтов и возможности размещения в скважине насоса требуемой производительности.

Количество колонн обсадных труб, их диаметры и глубины спуска определяются геолого-литологическим разрезом, глубиной залегания водоносного горизонта, условиями изоляции водоносных пластов, принятым эксплуатационным диаметром скважины и способом ее бурения. Эти элементы конструкции гидрогеологической

Таблица 1

Категория скважины	Минимальное проходное сече- ние, мм	Диаметр бурового наконечника способе бурения, мм				Диаметр бурового наконечника при ударном бурении, мм	
		без обсад- ки призабойной зоны трубами	при обсадке призабойной зоны трубами без цементации	при обсадке призабойной зоны трубами с цементацией		без обсадки призабойной зоны трубами	при обсадке призабойной зоны трубами
Понсковые и разведоч- ные	80—90	91	91	161—190		80—90	110
Разведочно-эксплуата- ционные	80—100	91	110	190		110	130
Эксплуатационные	80—100	91	110	190		110	130
Наблюдательные:							
а) при установке ав- томатических при- боров	75—80	75	91—110	161—190		75—91	91
б) без установки ав- томатических при- боров	40—50	45,5	75—91	151		24,5—58,5	75

скважины должны обеспечивать надежную изоляцию продуктивного горизонта от других водоносных горизонтов и от поверхности, отвечать наиболее оптимальному режиму технологии ее бурения и условиям последующей эксплуатации, ремонта и восстановления.

В конструкциях скважин обсадные трубы должны приниматься телескопическими с колоннами: шахтовое направление, кондуктор, эксплуатационная и фильтровая. В сложных гидрогеологических условиях для перекрытия незакрепленных кондуктором водоносных или неустойчивых пород в скважинах необходимо устанавливать дополнительные (технические) колонны труб, подлежащие последующему извлечению.

Конструкция скважин ударного бурения характеризуется сравнительно большим числом обсадных колонн (от 2—3 до 5—6), что связано с необходимостью закрепления пройденного бурением интервала через 30—40 м (при специальных методах посадки колонн через 50—100 м). Значительное уменьшение числа колонн обсадных труб и упрощение конструкций гидрогеологических скважин обеспечивается при вращательном и комбинированном способах их сооружения. На рис. 3 приведены конструкции гидрогеологических скважин, пройденных ударным и вращательным способами. При вращательном способе за счет более совершенной технологии бурения возможно применение одно- и двухколонных конструкций скважин с посадкой фильтров «впотай» или вскрытием водоносных горизонтов путем перфорации обсадных колонн [1, 3, 8].

Водоприемная часть гидрогеологических скважин в зависимости от степени устойчивости водоносных пород устраивается фильтровой или бесфильтровой (в устойчивых трещиноватых породах и мелкозернистых песках).

Фильтры гидрогеологических скважин должны обеспечивать благоприятные условия для притока воды, не допускать пескования и глинизации, не ухудшать качества воды, обладать малым сопротивлением, быть устойчивыми, долговечными и экономичными. Согласно действующим рекомендациям [3, 5, 7] необходимо исполь-

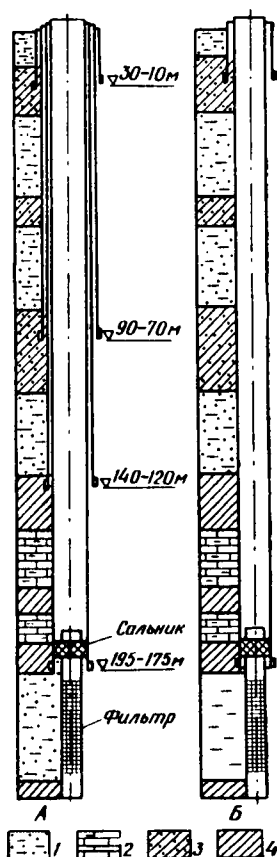


Рис. 3. Схематические разрезы скважин глубиной до 200 м. Скважины, пройденные ударным (А) и вращательным (Б) способами:

1 — песок водоносный, 2 — известняк водоносный, 3 — глины песчаные, 4 — глины

зовать в полускальных неустойчивых, щебенистых, гравийно-галечниковых и песчано-гравийных водоносных породах трубчатые (с круглой и щелевой перфорацией), трубчатые с проволоочной обмоткой и стержневые фильтры (без обмотки либо с водоприемной частью из нержавеющей проволоочной обмотки или штампованного листа); в крупно- и среднезернистых песках (с преобладающим содержанием частиц фракции $>0,25$ мм) трубчатые и стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки, стального штампованного листа или сетки квадратного и галунного плетения, иногда с однослойной гравийной обсыпкой; в мелкозернистых и глинистых песках (с преобладанием фракции $>0,1$ мм) трубчатые и стержневые с одно-, двух- или трехслойной песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры). Для наблюдательных скважин целесообразны фильтры с близкой к водоносным породам проницаемостью (проволочные, сетчатые и из штампованных материалов).

Длину рабочей части фильтра l_0 в напорных горизонтах небольшой мощности (до 10 м) следует принимать равной мощности пласта, в безнапорных — мощности горизонта за вычетом возможного понижения (фильтр должен быть затоплен). В более значительных по мощности водоносных горизонтах ее определяют, исходя из условий обеспечения проектного дебита скважины Q , ориентировочно по эмпирической зависимости:

$$l_0 = \frac{\alpha Q}{d}, \quad (\text{III.1})$$

где Q — проектный дебит скважины в $\text{м}^3/\text{ч}$; d — наружный диаметр фильтра в мм; α — эмпирический коэффициент, принимаемый в зависимости от коэффициента фильтрации водоносных пород в пределах от 30 (для высокопроницаемых песчано-гравийных пород) до 90 (для мелкозернистых песков).

Как показывают опыт и расчеты, в подавляющем большинстве скважин длина рабочей части фильтра l_0 может приниматься из условий обеспечения соотношения l_0/m в пределах 0,5—0,8 (здесь m — полная мощность вскрытого скважиной водоносного горизонта). В наблюдательных скважинах интервал вскрытия водоносного горизонта и длина рабочей части фильтра устанавливаются с учетом обеспечения замеров уровня воды при самом низком его положении (при этом верх рабочей части фильтра должен быть на 2—3 м ниже уровня).

Для успешной установки фильтра в скважине конечный ее диаметр должен быть на 50—100 мм больше наружного диаметра фильтра, а при устройстве гравийных фильтров необходимо учитывать толщину гравийной обсыпки. Состав гравийной обсыпки и размеры проходных отверстий фильтров d_0 подбираются исходя из соотношения $d_0 \leq (1,5 \div 4)d_{50}$, где d_{50} — диаметр частиц, содержание которых в обсыпке по массе составляет 50%. Это же соотношение следует учитывать и при устройстве фильтров без гравийной обсыпки (при условии, что d_{50} определен для водоносных пород). Подбор материала гравийной обсыпки осуществляется в зависимости от

гранулометрического состава водоносных пород с учетом выполнения соотношения d_{50} обсыпки: d_{50} породы = $8 \div 12$.

В целях проведения качественного гидрогеологического и гидрохимического опробования отдельных водоносных пластов и горизонтов в процессе бурения скважин или после завершения их проходки необходима тщательная изоляция опробуемого интервала от смежных в разрезе пластов и горизонтов. Изоляция отдельных водоносных горизонтов и водопроницаемых пластов осуществляется также в связи с необходимостью исключения перетоков воды из одного пласта в другой, перекрытия поглощающих горизонтов, предотвращения загрязнения водоносных пластов, обеспечения устойчивости стенок скважины и для других целей. В зависимости от способа бурения и целевого назначения изоляция водоносных горизонтов и испытываемых интервалов в скважинах осуществляется перекрытием их обсадными трубами с задавливанием колонн труб в естественные или искусственно создаваемые глинистые слои, выполнением затрубной или надбашмачной цементации обсадных колонн, установкой специальных цементных мостов, тампонов и сальников, применением различного рода пакеров, а также специальных схем и методов опробования водоносных горизонтов (раздельное опробование водоносных горизонтов, опережающее опробование, использование специальных испытателей пластов).

Распространенным и простым способом изоляции водоносного горизонта является спуск обсадных колонн и задавливание их башмака в подстилающие водоносный горизонт водоупорные глинистые породы на глубину 3—5 м (рис. 3, А). Если подстилающий водоупор ненадежен или представлен скальными породами, то вдавливание башмака колонны обсадных труб осуществляется в специальный глинистый тампон, создаваемый искусственно на забое скважины из жирной тампонажной глины (набрасывается в скважину в виде шариков либо доставляется на забой в специальных трубах и затем выдавливается из них). При скальном водоупоре для создания глинистого тампона разбуривается специальный карман (с помощью специальных расширителей или долота с эксцентриситетом), заполняемый тампонажной глиной. Возможно заполнение стакана цементом для цементации башмака обсадной колонны. В дальнейшем глинистая или цементная пробка внутри обсадной колонны разбуривается. Качество изоляции водоносного горизонта проверяется откачкой или наливом воды при ударном способе бурения и нагнетением воды при роторном бурении. Неизменность уровня воды в скважине после откачки свидетельствует о высоком качестве изоляции горизонта.

Для более надежной и длительной изоляции водоносных горизонтов, пластов и интервалов применяется цементация башмаков обсадных труб, манжетная цементация или цементация колонн обсадных труб в целом, для чего используется тампонажный цемент специальных марок. *Цементация обсадных колонн* (затрубная цементация) применяется для надежной изоляции испытываемого гори-

зонта от вышележащих. Для этой цели все вышележащие горизонты перекрываются колонной обсадных труб, затрубное пространство которой цементируется от башмака до устья скважины или на определенную высоту (рис. 3, Б). Диаметр бурения изолируемой части скважины при цементации принимается на 50—120 мм больше диаметра цементируемых труб. Если ниже лежащий водоносный горизонт, подлежащий опробованию или эксплуатации, является высоконапорным с уровнем выше устья, цементация обсадных колонн обязательна до устья скважины [1, 3, 7, 8].

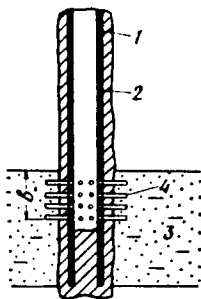


Рис. 4. Схема затрубной цементации обсадной колонны труб и вскрытия водоносного пласта перфорацией:

1 — обсадная колонна труб, 2 — цементный стакан, 3 — водоносный пласт, 4 — перфорационные каналы, а — вскрытая мощность пласта

Технически цементация осуществляется различными способами (через заливочные трубки, с помощью цементировочных головок и разделяющих пробок и т. п.). При больших глубинах бурения и благоприятных гидрогеологических условиях (отсутствие гидравлической взаимосвязи горизонтов, слабая агрессивность вод) можно ограничиться лишь подбашмачной цементацией обсадных колонн. Если обсадную колонну спускают в скважину вместе с установленным на ее конце фильтром и возникает необходимость в цементации некоторого интервала затрубного пространства выше фильтра, применяется *манжетная цементация*. Подаваемый через специальные клапанные отверстия в стенках обсадной колонны цементный раствор цементирует затрубное пространство на некоторую высоту, образуя изолирующий манжет. Манжетную цементацию используют также для изоляции одного от другого смежных в разрезе водоносных горизонтов (пластов). Перед проведением манжетной цементации обязательна разглинизация намечаемого к опробованию горизонта.

В некоторых стволах скважин (большая глубина скважин, частое переслаивание пород разной твердости, агрессивность подземных вод) для изоляции водоносных горизонтов применяется *затрубная цементация* обсадных колонн (в том числе хвостовиков) с последующим вскрытием опробуемых горизонтов или интервалов прострелом труб перфораторами или другим способом (рис. 4).

Рассмотренные способы изоляции водоносных горизонтов требуют значительного времени, повышенных финансовых расходов и затрат труб, обязательного использования новой колонны обсадных труб для опробования каждого следующего горизонта с уменьшением диаметра скважины на 100—150 мм, поэтому их использование становится нецелесообразным и затруднительным, если скважиной предполагается вскрыть и последовательно опробовать несколько горизонтов (более 2—3). В таких условиях целесообразно применять *специальные схемы и методы опробования* с разделени-

ем или изоляцией опробуемых горизонтов или интервалов с помощью временных тампонов, пакеров, пробок, сальников и т. д. Например, в устойчивых породах целесообразно *раздельное опробование горизонтов* по схеме «сверху — вниз». Для этого проходка скважины ведется до проектной отметки без крепления ее стенок. После проведения геофизических исследований намеченные для опробования интервалы разобщают цементными мостами, устанавливаемыми последовательно снизу вверх путем расклинивания деревянного клина, на который заливают цемент через колонну труб. Исследования горизонтов ведутся последовательно сверху вниз с перекрытием опробованного интервала обсадными трубами до цементного моста, его разбуриванием и испытанием нового интервала.

В других условиях предназначенные для опробования горизонты капируются одной колонной обсадных труб с установкой на ней фильтров для каждого из горизонтов и разобщением этих фильтров цементными мостами внутри обсадной колонны (рис. 5). Опробование горизонтов осуществляется последовательно сверху вниз с использованием специальной водоподъемной колонны с эластичным сальником для изоляции уже опробованного интервала. После извлечения водоподъемной колонны может быть проведено суммарное опробование всех каптированных обсадной колонной горизонтов. Разглинизация горизонтов при этом способе опробования производится либо комбинированным способом, либо обратно всасывающей промывкой через промывочные окна, устанавливаемые в нижней части фильтров.

Эффективным и перспективным специальным методом опробования вскрываемых при бурении скважины горизонтов является *метод опережающего опробования*, обеспечивающий опробование вскрываемых скважиной пластов и горизонтов без существенного изменения технологии бурения. После вскрытия пласта, намеченного к опробованию, бурение прекращается, промывают скважину качественным глинистым раствором (чем и обеспечивается изоляция испытуемого горизонта от вышележащих), извлекают буровой наконечник и на буровых трубах опускают в скважину специальный фильтр-опробователь (промывочного или шнекового типа). После введения фильтра в испытуемый горизонт (с расходкой и гидроподмывом) замеряется уровень воды в буровых трубах и осуществляется откачка (рис. 6).

Для временной изоляции в скважине испытуемых интервалов и горизонтов широко используются *специальные пакеры* (тампоны), которые опускаются на заданную глубину в скважине, устанавливаются (различными способами) и после опробования изолируемого ими интервала извлекаются из скважины. В зависимости от способа опробования пакеры устанавливаются непосредственно перед испытуемым горизонтом, ниже его или выделяют интервал опробования, обеспечивая его изоляцию в разрезе сверху и снизу.

Конструктивно пакер представляет собой эластичную оболочку

(в простейшем случае сальник), способную при изменении ее объема превращаться в изолирующий тампон (резиновые кольца, трубы, диски, надувные манжеты и т. п.). Пакерующие элементы широко применяются при гидрогеологическом опробовании скважин и горизонтов с помощью специальных испытателей и опробователей пластов, используемых в условиях устойчивых разрезов гидрогеологических скважин. При гидрогеологических исследованиях в пос-

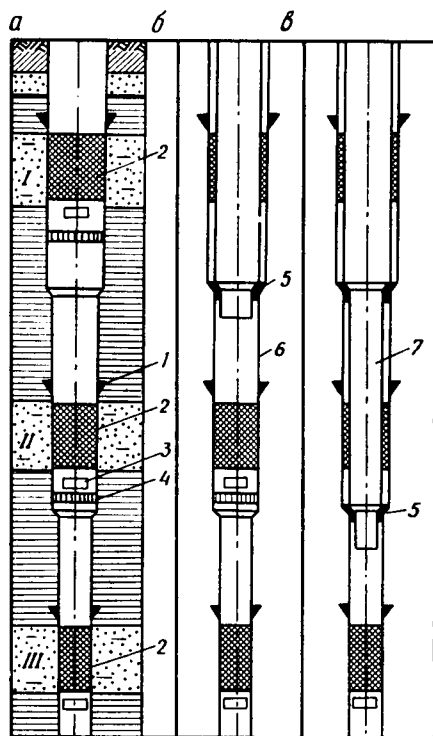


Рис. 5. Одноколонная конструкция скважины вращательного бурения с тремя фильтрами:

а — опробование первого (I) водоносного горизонта; б — опробование второго (II) водоносного горизонта; в — опробование третьего (III) водоносного горизонта; 1 — эластичный сальник, 2 — фильтр, 3 — промывочное окно, 4 — цементная пробка, 5 — сальник пенковый, 6 — обсадная колонна труб, 7 — вспомогательная колонна труб

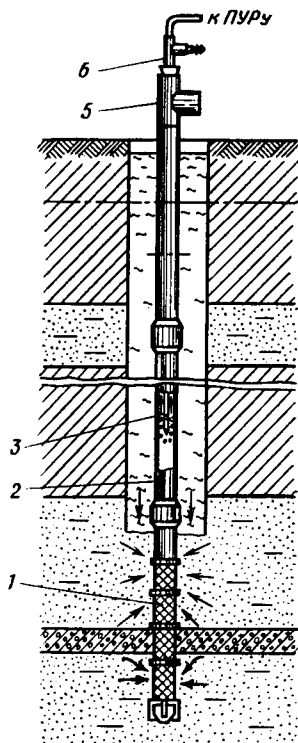


Рис. 6. Схема опережающего опробования водоносных горизонтов:

1 — фильтр-опробователь, 2 — буровые трубы, 3 — воздушные трубы эрлифта, 4 — уровень подземных вод опробуемого горизонта, 5 — тройник для слива воды, 6 — тройник на воздушной линии с уплотнительной пробкой, ПУР — пневматический уровнемер

ледние годы находят широкое применение комплекты испытательных инструментов (КИИ-57, КИИ-65, КИИ-146 с резиновым пакером осевого давления), испытательные снаряды (ИСВ с одним или двумя резиновыми пакерами, СИП-3 и др.), гидрогеологические опробователи пластов (ОПГ-4-5, ОПГ-7-10) и другие типы. Следует

лишь отметить, что для надежной изоляции пакерами испытуемого интервала требуется обеспечение действия на них осевой нагрузки до 5—7 т [1, 8].

Определенные требования предъявляются к оборудованию устьевых частей гидрогеологических скважин. Оголовок скважины должен обеспечивать условия для регулирования процесса откачки или самоизлива, измерения уровней и дебита, отбора проб воды и газа, спуска измерительных инструментов, изоляцию скважины от атмосферных осадков и загрязнений и т. д. Особой спецификой отличается оборудование устья фонтанирующих и газифицирующих глубоких скважин (необходимость установки фонтанной арматуры, лубрикатора, газоотделителя, манометров и т. д.).

Разведочные и другие гидрогеологические скважины после выполнения ими своих функций, если не предполагается их использование для каких-либо других целей (например, для использования в качестве наблюдательных), подлежат обязательной ликвидации путем соответствующей санитарно-технической заделки (тампонажа) с выполнением мероприятий, исключающих перетекание подземных вод из одних водоносных горизонтов в другие и их загрязнение.

§ 2. Технические средства и приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях

При сооружении гидрогеологических скважин, их оборудовании и проведении гидрогеологических исследований применяются разнообразные технические средства и приборы [1—6, 9—11].

Технические средства для бурения скважин и их подготовки для опробования и других гидрогеологических исследований детально изучаются в курсе «Бурение». Некоторые сведения по этому вопросу приведены выше (см. гл. III, § 1). Следует также отметить, что помимо буровых агрегатов и смонтированных на них приспособлений для подготовки гидрогеологических скважин к исследованиям, проведения измерений и профилактического и капитального ремонта на практике широко используются специальные агрегаты и станции: автоматическая электронно-каротажная станция СКВ-69 (для исследований и технического контроля скважин глубиной до 700 м), ремонтные агрегаты УРС-1в и РА-15в, механические лебедки Азинмаш-11 и Азинмаш-8 (для скважин глубиной до 3000—7000 м), аппараты Яковлева (при исследованиях скважин глубиной до 1000—2400 м), портативные лебедки типа ЛП-2 и др.

К техническим средствам и приборам, применяемым при гидрогеологических исследованиях, относятся также водоподъемное оборудование для проведения откачек, комплекты оборудования для опытных нагнетаний, приборы для замеров уровней, температуры и расхода подземных вод, средства для изоляции испытуемых интервалов и водоносных горизонтов, специальные приборы и комплекты для гидрогеологического опробования скважин и водоносных горизонтов, различного рода пробоотборники и т. д.

Водоподъемное оборудование. Для проведения откачек из скважин используются различные виды водоподъемного оборудования: горизонтальные центробежные и самовсасывающие насосы, эрлифты, штанговые поршневые и вертикальные центробежные насосы и др.

Горизонтальные центробежные насосы применяются при положении динамического уровня при откачках не глубже

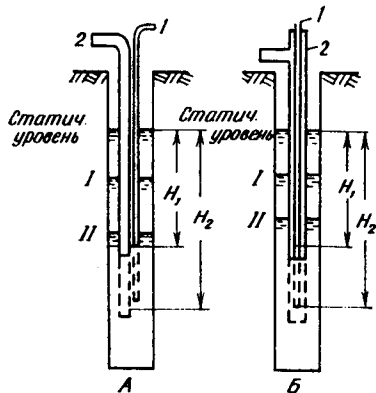


Рис. 7. Схемы монтажа эрлифта при откачке с двумя ступенями понижения уровня по схемам «рядом» (А) и «внутри» (Б):

1 — динамический уровень при погружении труб на глубину H_1 , II — то же, при погружении на глубину H_2 , I — воздухопроводные трубы, 2 — водо-подъемная колонна

7 м. Самовсасывающие горизонтальные центробежные насосы (типа С-203, С-204, С-245, С-247А, С-490, С-666) позволяют проводить откачки при глубине динамического уровня от 9 до 20 м и дебитах скважин от 24 до 120 м³/ч.

Наиболее часто для всех видов откачек из скважин (особенно выносящих песок) применяются эрлифты (воздушные водоподъемники), монтируемые по схеме «рядом» или «внутри» (рис. 7). Эрлифты обеспечивают проведение откачек при глубине динамического уровня до 100 м и более в широком диапазоне производительности (50—150 м³/ч). В качестве источников сжатого воздуха для эрлифтов используются передвижные компрессорные станции типа ЗИФ-51, ЗИФ-55, ПКС-5, ПК-10, ДК-9М, ЭК-9М и др. Параметры эрлифта (сечение труб, глубина их погружения, расход воздуха) подлежат обоснованию или расчету с учетом конкретных условий откачки [1, 3, 8]. При эрлифтной откачке конструкция скважины должна обеспечивать погружение смесителя эрлифта на глубину, в 1,5÷2,5 раза превышающую высоту подъема воды из скважины. Для наблюдения за положением уровня воды в скважине при откачке целесообразно устанавливать специальный пьезометр, нижний конец которого необходимо спускать на 8—10 м ниже смесителя (для исключения влияния пульсации уровня при работе эрлифта).

Штанговые поршневые насосы (типа ОМЗ, ШНД-1, ШНД-2, ШНД-3) используются для откачки воды из скважин малой производительности (от 0,5 до 50 м³/ч) при подъеме воды с глубины до 100—150 м.

Для откачки чистой воды из скважин целесообразно использовать вертикальные центробежные насосы с погружными (типа ЭПЛ, ЭН, АПВ, ЭЦВ, АПТ) и непогружными (типа АТН, А и НА) электродвигателями.

Для откачки чистой воды из скважин целесообразно использовать вертикальные центробежные насосы с погружными (типа ЭПЛ, ЭН, АПВ, ЭЦВ, АПТ) и непогружными (типа АТН, А и НА) электродвигателями.

Выпускаемые отечественной промышленностью центробежные насосы с погружными электродвигателями предназначены для установки в скважины диаметром от 101 до 406 мм. Производительность их изменяется от 2—10 м³/ч для насосов малых типоразмеров до 100—375 м³/ч для больших типоразмеров; развиваемый напор — от 25 до 770 м. Напоры насосов, устанавливаемых в скважины диаметром до 203 мм, редко превышают 150—300 м.

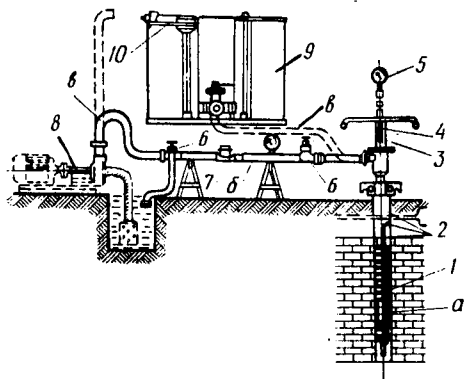


Рис. 8. Унифицированный комплект оборудования для опытных нагнетаний (УКН-1М):

а — тампон; *б* — распределительное устройство; *в* — напорный рукав для нагнетания воды в скважину с помощью насоса или мерных баков; *1* — собственно тампон (резиновые кольца), *2* — колонны упорных труб и натяжных штанг, *3* — головка тампона, *4* — домкрат, *5* — манометр, *6* — вентили, *7* — водомер, *8* — насос, *9* — мерные баки, *10* — регулятор уровня

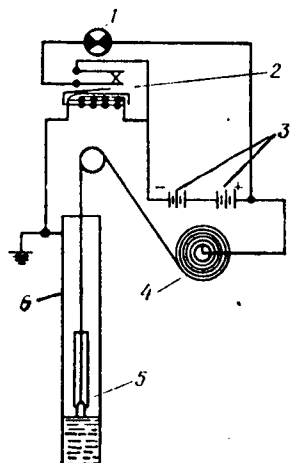


Рис. 9. Электрическая схема электроуровнемера ЭВ-1М:

1 — лампочка-индикатор, *2* — реле РСМ-2, *3* — батарейка типа КБСЛ, *4* — катушка с проводом, *5* — электрод, *6* — скважина

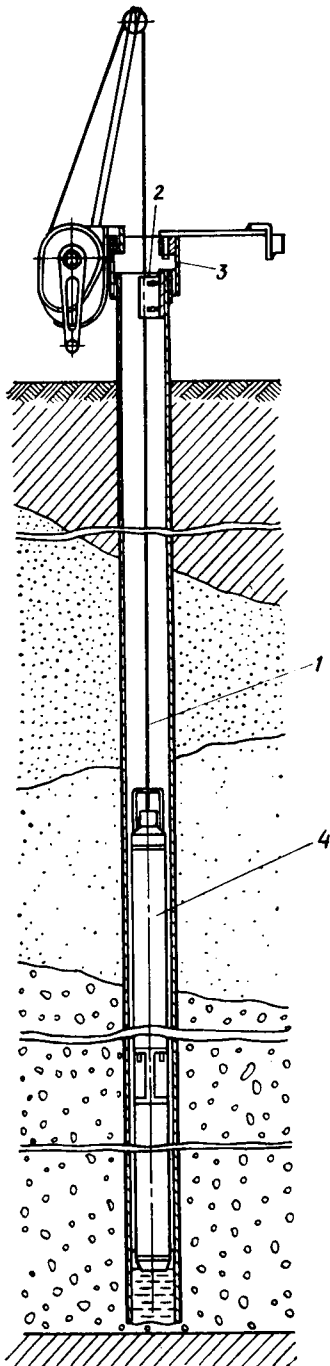
Для проведения опытных откачек создан передвижной откачный агрегат АО (на базе автомашины ЗИЛ-131 с использованием электропогружного насоса диаметром 152 мм), обеспечивающий расход воды до 40 м³/ч при глубине динамического уровня до 120 м.

Вертикальные центробежные насосы с электродвигателями над скважиной (типа АТН, А, НА) устанавливаются в скважинах диаметром более 203 мм и обеспечивают откачку чистой воды с расходом от 30—70 до 700—800 м³/ч и более при глубине динамического уровня от 25 до 115 м.

Оборудование для опытных нагнетаний. Для опытных нагнетаний применяют унифицированный комплект оборудования УКН-1М, включающий тампон УТД-1, распределительное устройство, напорные рукава, мерные баки или насосное оборудование (рис. 8). Комплект обеспечивает возможность налива или нагнетания воды в

Рис. 10. Схема установки уровнемера ГПП-20 в скважине:

1 — мерный трос, 2 — зажимы для закрепления мерного троса, 3 — оголовок скважины, 4 — уровнемер ГПП-20



изолируемый тампоном интервал при заданных ступенях давления с регистрацией величин водопоглощения по водомеру и давлений по манометрам.

Приборы для замеров уровней температуры и расходов воды. Для замеров уровня воды используются разнообразные переносные и стационарные приборы. Наиболее простыми и употребительными в работе являются переносные приборы — хлопущки и электроуровнемеры. *Хлопущки* выпускаются с рулетками различной длины, иногда в сочетании с термометром. Они обычно используются для замеров уровня воды глубиной не более 100 м (приборы типа РС-20, Р-50, ГПП-22). Точность замеров уровня хлопущками $\pm (1-5)$ см.

При использовании *электроуровнемеров* уровень воды фиксируется по сигналу (загорание лампочки, звонок, отклонение стрелки), возникающему при соприкосновении датчика электрода с поверхностью воды, т. е. при замыкании электрической цепи (рис. 9). Серийно выпускаемые электроуровнемеры (ЭВ-1М, УЭ-50, УЭ-75, УЭ-200) обеспечивают выполнение замеров уровня воды до глубины 200 м с погрешностью до ± 30 см (из-за неточности разметки и низкого качества мерного провода). Использование электроуровнемеров для замеров измерений уровня воды в одних и тех же скважинах позволяет повысить точность измерений до $\pm (1-2)$ см.

Стационарные приборы используются для систематических или непрерывных измерений уровня воды в наблюдательных скважинах. К этой группе приборов относятся: *барабанный уровнемер* УБ-1 (диаметр поплав-

ка до 60 мм, глубина замеров уровня до 60 м); *самописец уровня воды СУВ-3* (непрерывная регистрация измерений уровня в скважинах диаметром от 76 до 203 мм, глубиной до 60 м, с погрешностью $\pm 2-3$ см); *самописцы уровня СУВ-М «Валдай»* и ГР-38 (регистрация изменений уровня в скважинах диаметром более 250 мм с предельной глубиной его положения 6 м); *регистратор уровня цифropечатающий РУЦ-2М* (автоматическое измерение и регистрация уровня воды в скважинах диаметром более 76 мм с предельной глубиной его положения 60 м); *уровнемер ГГП-20* и *регистратор уровня воды в скважине РУВС-1* (обеспечивают дискретное автоматическое измерение и регистрацию уровня воды в обсаженных трубами скважинах диаметром не менее 81 мм при глубине его положения до 100 м); контактный уровнемер со следящей системой КУС-2 (непрерывное автоматическое измерение уровня в скважинах диаметром более 76 мм с предельной глубиной его положения 100 м) и др. На рис. 10 для примера приведена схема установки в скважине уровнемера ГГП-20 — одного из наиболее современных измерительных приборов. Прибор 4 перемещается вдоль мерного троса 1, закрепляемого зажимом 2 под оголовком 3, и занимает положение, определяемое уровнем воды в скважине. Включение прибора осуществляется периодически с помощью реле времени, измеряемые значения уровня фиксируются на ленте счетно-печатающим устройством. В отличие от уровнемера ГГП-20 регистратор уровня РУВС-1 не требует надскважинной надстройки (крепится непосредственно в скважине), регистрирует положение уровня путем перфорации на движущейся одновременно с датчиком ленте, более чувствителен и экономичен.

Для регистрации изменений уровня при откачках помимо электроуровнемеров и хлопушек может использоваться *пневматический уровнемер ПУР*, схема которого показана на рис. 11. Глубина положения уровня воды в скважине x определяется как разность между длиной измерительной трубки l и высотой столба воды в ней h . Высота столба воды h в измерительной трубке регистрируется по давлению нагнетаемого в нее воздуха манометром 3. Для осуществления непрерывной регистрации изменений уровня во времени в систему ПУРа вводятся самопишущие манометры типа МСС-410.

Для измерения и регистрации пластовых давлений в скважинах используются *глубинные манометры* типа МГГ, МГЛ, МГП, ДГМ-2, ДГМ-4, УДГМ-1 и др. Значения пластовых давлений фиксируются в спускаемых в скважины манометрах на диаграммных лентах, приводимых в действие часовым механизмом. Точность измерения давления зависит от типа манометра. Наиболее высокая точность свойственна глубинным дифференциальным манометрам ДГМ-2, ДГМ-4, регистрирующим измеряемое давление не от нуля, а от некоторого начального давления [4, 8]. Для измерения устьевых давлений в скважинах, дающих воду самоизливом, используются различные технические и регистрирующие манометры, обеспечивающие точность замеров до 0,49—0,98 Па (0,05—0,1 кгс/см²).

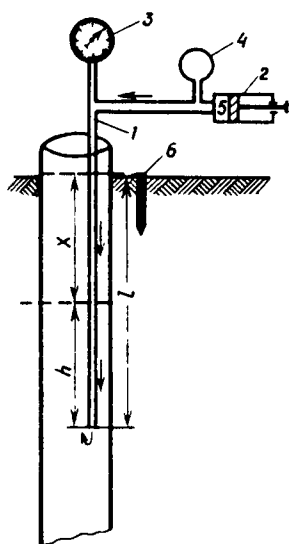


Рис. 11. Схема пневматического уровнемера:

1 — трубка, 2 — воздушный насос, 3 — манометр, 4 — баллон, 5 — клапан, 6 — репер

Для измерения температуры подземных вод наиболее широко используются *ртутные термометры* различных марок (ТМ-1, ТМ-4, ТМ-10, ТМ-14 и др.), обеспечивающие точность измерений $\pm 0,2$ — $0,5^\circ\text{C}$, а также более высокоточные *ртутные термометры* ТЛ-4, ТЛ-18, ТЛ-21, ТР-1, ТР-2, ТР-3, ТР-4 (точность измерений до $\pm 0,01$ — $0,05^\circ\text{C}$). В комплексе с каротажными станциями для измерений температуры подземных вод широко используются *электрические термометры* типа ЭТМИ-55, ЭТМИ-57, ЭТМИ-58, ЭТС-2у, ЭТО-3, ТЭГ-2, ЭАТО, обеспечивающие возможность измерения температуры воды по всему стволу скважины. Для измерений температуры подземных вод используют также *полупроводниковые термометры* сопротивлений (терморезисторов), которые достаточно чувствительны и практически безынерционны. Серийно выпускаются *стержневые терморезисторы* (типа ММТ-1, ММТ-4, ММТ-8, КМП-4, КМП-9 и др.), которые применяются в комплекте с измерительными мостами сопротивлений марки МО-62.

Некоторые типы глубинных термометров монтируются в комплексе с приборами для замеров уровней и давления подземных вод (с хлопущками, манометрами, пластоиспытателями). Специальные типы глубинных термометров (ТГБ-1, ТГБ-4, ТГГ-1 и др.) обеспечивают возможность непрерывного измерения и регистрации на специальных бланках изменений температуры во времени [9—11].

Для измерения расхода воды при откачках наиболее широко применяется *объемный способ*, при котором расход определяется по времени заполнения водой мерной емкости (бака, бочки, ведра и т. п.). При расходах воды более 10 л/с целесообразно использование *водосливов* (трапецидальных, прямоугольных, треугольных), обеспечивающих определение расхода по высоте уровня проходящей через водослив жидкости [2, 8, 11]. В условиях откачки чистой воды для измерения расхода можно использовать серийно выпускаемые промышленностью *водосчетчики* (крыльчатые типа ВК и винтовые типа ВВ), которые обеспечивают замеры расхода воды в диапазоне от 0,1 до 1300 м³/ч с погрешностью ± 2 —5%. При наличии электроэнергии для автоматического измерения и регистрации расходов воды целесообразно использовать расходомеры постоянного перепада давлений—*ротаметры* (при дебитах сква-

Рис. 12. Скважинный тахометрический расходомер ТСР-34/70Э:

1 — наземный пульт с электромеханическим счетчиком (ЭМС), 2 — фигурный прерыватель электрической схемы, 3 — токоподводящие электроды, 4 — ось крыльчатки, 5 — съемная центрирующая рес-сора

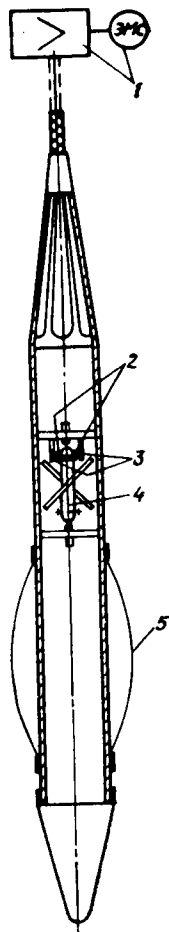
жин до $63 \text{ м}^3/\text{ч}$) и электромагнитные расходомеры (в диапазоне от 0 до $400 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Для измерения и регистрации расхода воды по стволу скважины применяются *скважинные расходомеры* (типа ТСР-70Ф, ТСР-43Э, ТСР-20Э, ДАУЗ, РСТ, РЭИ, РГД-1м, РГД-6Б и др.), принцип действия которых основан на измерении скоростей осевого потока воды в стволе скважины. Диаметр датчиков указанных типов расходомеров (кроме РЭИ и РГД) обеспечивает возможность их применения для замеров расхода с точностью 5—10% в гидрогеологических скважинах диаметром 80—100 мм, глубиной до 1200 м. Расходомеры типа РЭИ и РГД предназначены для замеров в скважинах диаметром не менее 127 мм. Расходометрические исследования осуществляются с помощью стандартного геофизического оборудования. На рис. 12 приведена схема одного из наиболее распространенных типов тахометрических скважинных расходомеров ТСР-34/70Э, имеющего в комплекте два датчика диаметром 34 и 70 мм. Скорость проходящего через расходомер потока определяется с помощью крыльчатки 4, обороты которой фиксируются электромеханическим счетчиком (ЭМС) пульта управления 1.

Более совершенными (по надежности и чувствительности) приборами, используемыми для расходометрических исследований скважин, являются скважинные *термокондуктивные дебитомеры* (типа СТД-2, СТД-4 и др.), которые позволяют проводить дискретные и непрерывные замеры дебита и температуры и являются перспективными для исследований гидрогеологических скважин.

Приборы и комплекты для опробования водоносных пластов. При бурении глубоких гидрогеологических скважин в устойчивых породах опробование водоносных пластов и зон нередко осуществляется с помощью специальных испытателей и опробователей пластов, опускаемых в скважины на бурильных трубах или кабеле. Изоляция испытываемых интервалов осуществляется тампонами или пакерами, входящими в комплект испытательных инструментов или рассмотренными выше способами (см. гл. III, § 1).

В простейшем виде испытательный снаряд включает хвостовик-фильтр, резиновый пакер, клапанный узел и бурильные трубы. Про-



цесс притока воды в бурильные трубы (или специальную камеру) и характер изменения пластового давления под пакером фиксируется с помощью глубинных самопишущих манометров.

В практике опробования глубоких скважин (более 300—500 м) широко применяются комплекты испытательных инструментов КИИ-ГрозУфНИИ, выпускаемые в трех типоразмерах: КИИ-146 (для скважин диаметром от 190 до 295 мм), КИИ-95 (для скважин диаметром от 118 до 161 мм) и КИИ-65 (для скважин диаметром от 76 до 112 мм). На базе комплектов КИИ созданы различные модификации (КИИ-2М-95, МИК-95, КИИ-2М-146 и др.).

ВСЕГИНГЕО разработан более простой по конструкции и обладающий меньшей жесткостью пакера испытательный снаряд ИСВ, предназначенный для поинтервального опробования гидрогеологических скважин глубиной до 2000 м (рис. 13). После спуска снаряда под весом бурильного инструмента закрывается уравнительный клапан испытателя, и резиновый элемент пакера 3 изолирует испытываемый интервал. Вода из пласта поступает через приемный клапан в пустые бурильные трубы вплоть до поплавкового запорного клапана 5. Глубинные манометры, установленные в фильтре-хвостовике и над приемным клапаном, фиксируют диаграмму изменения давления во времени как в процессе опробования (кривые притока и восстановления), так и в процессе спуска и подъема снаряда. В зависимости от конкретных условий и задач снаряд ИСВ можно применять в различных компоновках (рис. 14). В частности, для опробования неглубоких скважин применяется упрощенная компоновка снаряда с проведением откочки из-под пакерной зоны через бурильные трубы (рис. 14, в). Снаряд ИСВ может также использоваться для испытания колонн и цементных мостов, «оживления» закольматированных горизонтов, отбора проб воды на анализы. Аналогичен ему по устройству и принципу действия испытательный инструмент ИИК-57, обеспечивающий поинтервальное исследование водоносных толщ в скважинах диаметром более 59 мм и глубиной 250—3000 м.

Кроме рассмотренных типов пластоиспытателей в гидрогеологической практике используются снаряд СИП-3 (аналогичен упрощенной модификации ИСВ, рис. 14, в), опробователь пластов с двумя пакерами ОПТС-8/10 (применяется в скважинах диаметром 190—243 мм, глубиной до 4000 м, управление пакерами гидравлическое), а также специальные гидрогеологические опробователи пластов, опускаемые в скважины на кабеле с помощью коротажных станций (опробователи ОПГ-7-10, ОПГ-4-5 и др.).

Пробоотборники. Для отбора проб воды из гидрогеологических скважин помимо специальных опробователей (типа ОПГ, ОПК, ОПКТ, ОП, ИСВ, КИИ) используются *пробоотборники* различных конструкций, начиная от простейшего (бутылка с пробкой и грузом на шнуре) и кончая современными, обеспечивающими отбор проб воды и газа из скважин больших глубин [4].

Отбор проб воды из неглубоких скважин (без газовой состав-

ляющей) осуществляется *водоносами* ГГП-19 и ГГП-20, обеспечивающими глубину спуска до 60 м и объем отбираемых проб 1,5 и 0,6 л соответственно. Для отбора проб воды с газовой составляющей из глубоких скважин (до 1000—1500 м) широко используются *глубинные пробоотборники ВСЕГИНГЕО* (типа ППБ, ПВ, ПГ, ПЭ), имеющие большой объем приемных камер (2,5—3 л) и срабатывающие от посыльного груза и от гидравлической воронки. Максимальный диаметр этих приборов составляет 60 мм. При использовании гидравлической воронки пробоотборники обеспечивают отбор проб воды и газа из вертикальных, наклонных и искривленных сква-

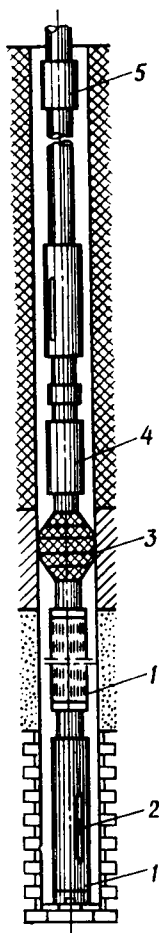


Рис. 13. Испытательный снаряд ВСЕГИНГЕО ИСВ:

1 — фильтр-хвостовик, 2 — глубинный манометр, 3 — секционный пакер, 4 — испытатель пластов, 5 — запорный поплавок

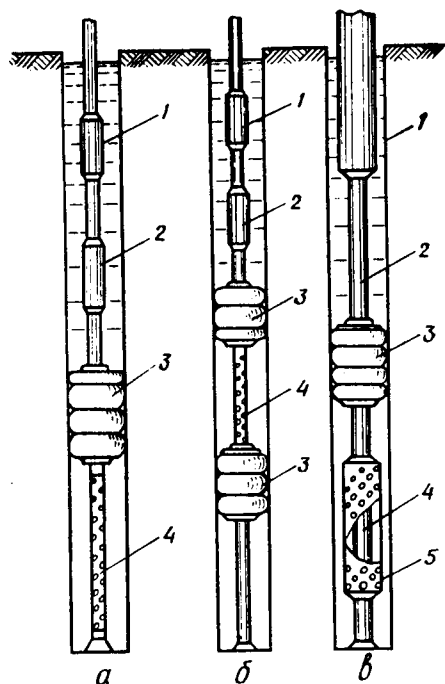


Рис. 14. Схемы применения снаряда ИСВ:

а — с одним пакером; б — с двумя пакерами (1 — поплавок, 2 — узел с манометром, 3 — пакер, 4 — фильтр), в — упрощенная компоновка узлов снаряда для откачки из-под пакерной зоны (1 — обсадные трубы, 2 — буровые трубы, 3 — пакер, 4 — манометр, 5 — хвостовик)

жин с глубины до 1500 м. Например, *пробоотборник ПВ* (рис. 15) позволяет успешно отбирать пробы из скважин, в которых глубина статического уровня достигает 500 м и более от поверхности. При

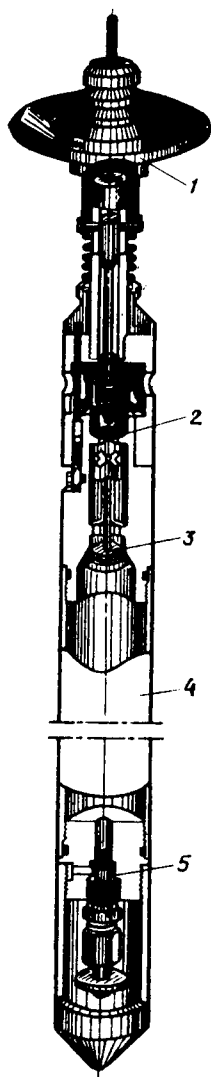


Рис. 15. Пробоотборник вакуумный ПВ:

1 — гидравлическая воронка, 2 — мембрана, 3 — обратный клапан, 4 — приемная камера, 5 — игольчатый вентиль для отбора проб из камеры

резких 2—3-кратных подъемах прибора в интервале 3—5 м гидравлическая воронка 1 за счет сопротивления встречному потоку воды передвигается вниз и ударяет по бойку, пробивая мембрану 2 и обеспечивая приток воды в приемную камеру 4. Для отбора проб воды и газа из глубоких скважин применяются *нефтяные пробоотборники* ПД-3 и ПРИЗ-II (проба до 1 л, диаметр прибора 36 мм), обеспечивающие отбор проб из скважин глубиной 3000 м и более.

При гидрогеологических исследованиях находят применение и многие другие технические средства и приборы: пробоотборники и грунтоносы для отбора проб горных пород, приборы для отбора проб газа, геофизическая каротажная аппаратура, перфораторы для прострела обсадных колонн в интервалах опробования, фототелевизионная аппаратура для изучения и обследования стволов скважин, приборы для сбора данных по оценке элементов водного баланса (испарители, влагомеры, лизиметры и др.), различного рода лабораторные приборы и оборудование и т. д. [1—3, 6, 8—11]. Некоторые сведения о применяемых для гидрогеологических исследований технических средствах излагаются в последующих главах учебника.

§ 3. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин

Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин ведутся непосредственно при проходке скважин, а также при их гидрогеологическом опробовании в процессе бурения. Задачи таких наблюдений — выявление водоносных горизонтов, изучение условий их залегания, состава, мощности, водообильности, фильтрационных свойств, характера взаимосвязи водоносных горизонтов, химического состава подземных вод и получение другой гидрогеологической информации.

Виды и характер гидрогеологических наблюдений при бурении скважин в значительной мере зависят от способа их бурения. При бурении скважин обычно проводятся гидрогеологические наблюдения за уровнями подземных вод, литологическими особенностями, пористостью и тре-

щиноватостью горных пород, состоянием глинистого раствора и его поглощением, провалами бурового инструмента и выходом керна, температурой вскрываемых вод и газопроявлениями; осуществляется отбор проб воды, газа и образцов пород для анализов и лабораторных исследований; выполняется специальное гидрогеологическое опробование вскрываемых водоносных пластов и горизонтов (см. гл. IV). Результаты выполняемых гидрогеологических наблюдений отражаются в сменных рапортах, буровых журналах, паспортах скважин и других первичных документах [1—3].

Наблюдения за появившимся и установившимся (статическим) уровнем воды дают возможность установить глубину залегания и гидравлический характер (напорность) вскрываемых водоносных пластов и горизонтов. Уровень воды в скважинах замеряется с помощью гидрогеологических рулеток, уровнемеров и других приборов (см. выше). При самоизливе воды из скважины уровень ее вычисляется либо по высоте изливающегося фонтана над устьем скважины, либо по величине давления устьевым манометром.

Замеры появившегося и установившегося уровня воды при бурении скважин без промывки легко осуществимы и не вызывают затруднений. При бурении скважин с промывкой вскрытие водоносных горизонтов фиксируется косвенно, на основании наблюдений за выходом и потерями промывочной жидкости, за изменением ее физических свойств (плотности, вязкости, минерализации, температуры), а также за изменением показателей режима бурения в зависимости от типа проходимых пород (скорости углубления снаряда, величины крутящего момента на валу двигателя и затрачиваемой мощности, угловой скорости инструмента и характера его поведения, давления и расхода промывочной жидкости и др.). В частности, вскрытие водопроницаемых пород или водоносного горизонта может быть обнаружено по увеличению или полному поглощению промывочного раствора, по изменению физических свойств раствора (плотности и вязкости) в результате его разбавления водой, по резкому изменению уровня жидкости в скважине, наблюдаемому во время перерывов в бурении. Полное исчезновение промывочного раствора при прекращении бурения обычно свидетельствует о вскрытии необводненных проницаемых пород, а установление его на определенной глубине — о вскрытии водоносного горизонта. Соответствие глубины положения жидкости в скважине статистическому уровню горизонта проверяется кратковременным доливом воды в скважину или ее откачкой из скважины.

Восстановление уровня на прежней глубине свидетельствует о соответствии замеренного уровня статическому.

При современном уровне развития техники можно осуществлять непрерывный контроль как технологических режимов бурения, так и параметров промывочного раствора. По совпадению

нескольких косвенных показателей можно определять моменты вскрытия и глубину залегания водоносных пород, судить о водообильности горизонтов и вскрываемом геологическом разрезе, степени трещиноватости и водопроницаемости пород и т. д.

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

При бурении скважин с глинистой промывкой чрезвычайно ценными являются наблюдения за поглощением глинистого раствора, изменением его плотности, вязкости, температуры, химического состава. Эти наблюдения дают возможность выполнять сравнительную оценку водопроницаемости пород, фиксировать вскрытие водоносных горизонтов и интервалов необходимых водопроницаемых пород. Например, одновременное изменение плотности, вязкости и минерализации глинистого раствора свидетельствует о вскрытии водоносного горизонта; вертикальные перемещения и толчки бурового инструмента, снижение уровня и большой расход промывочной жидкости — о вскрытии неводоносных или слабОВОдоносных, но высокопроницаемых отложений.

При обнаружении признаков вскрытия водоносного горизонта (уменьшение вязкости и плотности глинистого раствора, изменение его температуры, резкое изменение уровня жидкости в скважине и т. п.) проходка скважины должна быть приостановлена с целью определения положения уровня вскрытого горизонта и при необходимости его гидрогеологического опробования.

В ряде случаев без остановки процесса бурения можно ориентировочно определить глубину вскрытия водоносного горизонта, его мощность, напор, температуру и химический состав подземных вод, их газонасыщенность. Более достоверные данные можно получить при бурении с прямой и обратной промывкой на чистой воде. Вскрытие зоны водопротока или поглощения можно определить по изменению расхода выходящей из скважины воды, для чего удобно использовать регистрирующие расходомеры. Параметры промывочной жидкости измеряются такими приборами, как радиоактивные плотномеры, термометры, солемеры, термосолеуровнемеры и др.

Наблюдения за литологическим составом, пористостью и трещиноватостью пород, вскрываемых скважиной, позволяют ориентировочно судить о степени водопроницаемости пород и устанавливать глубину залегания и мощность водоносных горизонтов. Наиболее полную информацию получают при отборе и изучении керна. Для отбора образцов пород из скважин применяются обычные и двойные колонковые трубы и грунтоносы различных конструкций. Наибольшее практическое применение получили двойные

колонковые трубы конструкции ТПИ, МГРИ, Львовуглегеологии, грунтоносы ВСЕГИНГЕО и НИИОСПа. Частота отбора проб зависит от изменчивости геологического разреза и целевого назначения скважины. Обычно для каждой литологической разности пород отбирают 1—2 образца. После окончания бурения отбор образцов пород возможен боковыми грунтоносами (стреляющими ГРБС, БСГ-1а, ГРС-2, БКДГ, сверлящими СГ-110, СГ-150, пружинными конструкции ВСЕГЕИ и др.). Отбор образцов при бурении требует перехода на колонковое бурение. Весь керн из скважин следует тщательно отбирать, документировать и укладывать в ящики с указанием интервала отбора и процента выхода керна. Данные о степени выхода керна дают определенные представления о водопроницаемости вскрываемых скважиной горных пород (например, трещиноватые водопроницаемые породы дают малый выход керна, слабопроницаемые и монолитные породы — большой). Сопоставление процентов выхода керна по интервалам бурения с результатами наблюдений за уровнем воды и поглощением промывочного раствора позволяет оценивать водоносность того или иного интервала.

При бурении сплошным забоем большое значение приобретают наблюдения за износом долот, скоростью и режимом бурения. Литологические особенности пород изучаются по шламу, отбираемому при бурении из желобной системы регулярно через каждый метр проходки скважины.

Наблюдения за температурой проводятся как в процессе бурения, так и главным образом после окончания бурения скважины, когда восстанавливается нарушенный бурением тепловой режим подземных вод и горных пород. Особую ценность эти наблюдения приобретают при бурении скважин на термальные воды и в области многолетней мерзлоты. Замеры температуры проводятся с помощью термометров замедленного действия, электрических и других приборов.

Эти замеры позволяют устанавливать глубину вскрываемых водоносных горизонтов и мерзлых пород, мощность многолетней мерзлоты, водоносные тектонические нарушения.

При бурении в трещиноватых и карстующихся породах (известняках, мраморах, доломитах, гипсах и др.) необходимо фиксировать провалы бурового инструмента, вызываемые наличием крупных трещин, пустот и полостей, определяющих высокую водопроницаемость проходимого интервала пород. В таких условиях ценную гидрогеологическую информацию дают также наблюдения за поведением уровня воды в скважине, поглощением промывочного раствора и изменением его свойств (плотности, вязкости, температуры, химического состава), а также фототелеметрические исследования.

Наблюдения за изменением химического состава промывочного раствора (обычно фиксируется изменение одного-двух характерных компонентов, например Na, Cl или SO_4) дают информацию

о вскрытии водоносных отложений и ориентировочной их водообильности. Особенно ценными эти наблюдения являются при бурении скважин на минеральные и промышленные воды, характеризующиеся высокой минерализацией и специфичным составом.

Отбор проб воды для изучения химического состава подземных вод вскрываемых водоносных горизонтов осуществляется с помощью желонки, водоносов и пробоотборников после предварительного оттартовывания или откачки воды из скважины до ее полного осветления. Обычно он проводится в период остановки бурения скважин в связи с определением положения статических уровней или в процессе проведения откачек. Объемы отбираемых проб зависят от характера и назначения анализа и чаще составляют 1—2 л.

В процессе бурения скважин необходимо вести наблюдения за газопроявлениями и при возможности отбирать пробы газа при его выделении из выходящей промывочной жидкости. Пробы растворенного в воде газа отбираются из скважин с помощью специальных пробоотборников и дегазаторов одновременно с отбором проб воды.

Для получения более представительных данных о вскрываемых водоносных горизонтах и, в частности, об их водообильности и фильтрационных свойствах проводится специальное гидрогеологическое опробование. В процессе бурения скважин и вскрытия водоносных горизонтов предварительное опробование осуществляется путем желонирования, проведения кратковременных откачек, или наливов (экспресс-опробование), испытания пластов специальными опробователями и испытательными комплектами, а также методом опережающего опробования с использованием вводимого в скважину специального фильтра-опробователя. Гидрогеологические наблюдения в процессе опробования вскрываемых горизонтов заключаются в замерах и регистрации дебитов и измерениях уровней как в процессе откачек, так и после их прекращения (восстановление уровня). Результаты наблюдений фиксируются в буровом и геологическом журналах, в журнале откачек, в актах на проведение исследований в скважине, на гидрогеологических колонках и т. д. [2, 3, 11]. Данные опробования используются для сравнительной оценки фильтрационных свойств и водообильности вскрываемых горизонтов и пластов, выбора интервалов для установки фильтров и детального их гидрогеологического изучения и решения других задач. Более детально методы гидрогеологического опробования (опытно-фильтрационные работы) рассмотрены в гл. IV.

Комплексное проведение различных видов наблюдений и исследований (в том числе и геофизических) при бурении скважин обеспечивает своевременное и надежное выявление водоносных пластов и горизонтов и их последующее гидрогеологическое изучение и опробование.

§ 4. Гидрогеологические наблюдения при проведении горных работ

Гидрогеологические наблюдения проводятся не только при бурении скважин, но и при проходке других разведочных и эксплуатационных горных выработок (шурфов, дудок, шахтных стволов, штолен и т. п.). Задачи таких наблюдений могут быть разными, но всегда необходимо стремиться получить ценную дополнительную геолого-гидрогеологическую информацию об объектах изучения и использовать ее для эффективного решения поставленных гидрогеологических задач. Гидрогеологические наблюдения в горных выработках могут проводиться в процессе поисково-разведочных гидрогеологических работ, при специализированных съемках, поисках, разведке и разработке месторождений различных полезных ископаемых и выполнении других заданий.

Если в районе проведения гидрогеологических работ имеются действующие или старые рудники, то и их выработки подлежат гидрогеологическому обследованию и документации. При этом необходимо выявить как путем непосредственного обследования, так и путем сбора фондовых данных следующие сведения: географическое положение описываемого объекта; когда, кем и для каких целей пройдены горные выработки; основные особенности геологии участка; описание горных выработок (их глубина, сечение, крепление, план расположения вертикальных, горизонтальных и наклонных выработок); литолого-стратиграфический разрез по стволу и квершлагам; состояние и устойчивость пород в выработках; описание вскрытых водоносных зон и горизонтов (размеры и характер водопроявлений, дебит, физические свойства и химический состав вод, режим и др.); изменение характера и степени трещиноватости пород и их обводненности по мере углубления выработок; наличие прорывов воды в горные выработки (время, глубина проявления, вмещающие породы, причина возникновения, размер наблюдавшегося притока); суммарный приток в горные выработки и его изменение по временам года и по годам, приток воды на единицу площади или длины горных выработок; влияние горных выработок и дренажных работ на режим и загрязнение водоносных горизонтов, использующихся для водоснабжения; применяемые средства осушения месторождения (поглощающие скважины, забивные фильтры, сквозные фильтры, и т. д.), их описание и режим работы; существующие ограждения выработок от воды и их эффективность (перемычки, водопроницаемая крепь и др.); использование шахтных (рудничных) вод в практических целях.

В подземных горных выработках фиксируются и описываются все водопроявления, проводятся наблюдения за притоком, температурой и химическим составом воды, изучаются литологические особенности вскрытых пород, их водно-физические свойства и устойчивость в кровле, стенках и подошве выработок.

Преимущества осуществления наблюдений в горных выработках большого сечения заключаются в том, что породы и водопроявления доступны в них непосредственному осмотру и визуальному изучению. При наблюдениях как в вертикальных, так и в горизонтальных выработках целесообразны фотографирование и зарисовки наблюдаемых объектов и явлений.

Основное внимание при документации горноразведочных выработок уделяется изучению литологических особенностей вскрытых пород, их структуры, крепости, степени выветрелости, трещиноватости, плотности (для песков), глинистости и консистенции (для связных пород), влажности, водопроявлений и физико-геологических процессов.

Следует обращать внимание на состояние и устойчивость горных пород в почве, кровле и стенках изучаемых горных выработок (штолен, штреков, шурфов и др.); тщательно фиксировать характер и особенности наблюдаемых физико-геологических явлений и процессов (пучение, прорывы плывунов, прогибы, вывалы, просадки, деформации и др.).

При документации горных работ ведутся тщательные наблюдения за всеми видами водопроявлений; определяются появившиеся и установившиеся уровни вскрываемых водоносных горизонтов. В процессе проходки выработок с водоотливом и при создании водотоков в некоторых видах выработок (например, в канавах, заданных на склоне рельефа, или штольнях с уклоном в сторону устья) определяются величины водопритока и водоотлива, изучается режим подземных вод.

Из практики известно, что с течением времени изменяется цвет горных пород, вскрытых выработками, их влажность, пластичность, могут возникнуть новые трещины в породах, в некоторых выработках понижаются отметки выхода воды (например, в штольне), что нередко связано с уменьшением водопритока до полного его иссякания, могут иметь место колебания химического состава откачиваемых или свободно изливающихся подземных вод. Эти и другие изменения устанавливаются в результате выполнения периодических гидрогеологических наблюдений, проведение которых обязательно во всех действующих горных выработках и целесообразно в процессе проведения разведочных горных работ.

Вопросы гидрогеологических наблюдений и исследований при поисках, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых рассмотрены отдельно (см. гл. XVIII).

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

Одной из основных задач исследований при изучении месторождений подземных вод и решении разнообразных гидрогеологических задач является определение гидрогеологических параметров водоносных толщ и горных пород зоны аэрации. Без установления этих параметров обычно невозможны количественные оценки и различного рода инженерные расчеты и прогнозы, связанные с выявлением подземных вод, их количественным и качественным изучением, народнохозяйственным освоением или регулированием.

В настоящее время для определения расчетных гидрогеологических параметров, характеризующих главным образом фильтрационные свойства и водообильность горных пород, применяются различные методы, целесообразность и эффективность использования которых зависят от стадии и технических условий проведения исследований, характера и специфики решаемых задач, природных условий изучаемого гидрогеологического объекта и других факторов. К числу таких методов относят: 1) откачки, 2) наливы и нагнетания в скважины, 3) наливы в шурфы, 4) экспресс-методы, 5) определение параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод, 6) лабораторные методы, 7) геофизические методы, 8) моделирование.

Перечисленные методы характеризуются различной степенью надежности определения фильтрационных свойств и спецификой их проведения. Первые четыре метода могут быть отнесены к группе полевых опытно-фильтрационных и являются преобладающими в практике гидрогеологических исследований как обеспечивающие эффективное и более достоверное определение расчетных гидрогеологических параметров.

Определение параметров по данным стационарных наблюдений представляется одним из наиболее надежных методов, особенно в районах действующих водозаборных или дренажных сооружений, а также на прибрежных участках водотоков и водоемов, где возмущения от действия указанных объектов проявляются наиболее остро и данные о поведении уровней подземных вод являются надежной основой для количественной оценки различных гидрогеологических параметров. Применение этого метода требует наличия точек режимной сети (скважин, створов, постов) и организации соответствующих наблюдений за режимом подземных вод (см. гл. V).

Лабораторные методы определения фильтрационных свойств применяются для массовых ориентировочных предварительных оценок на первоначальных этапах изучения горных пород (главным образом глинистых и песчаных) и основаны на проведении опытной фильтрации воды через специально отбираемые образцы горных пород с помощью различных приборов (см. гл. VI). Сюда же следует отнести и методы определения фильтрационных

свойств по различного рода эмпирическим зависимостям, учитывающим корреляционные связи этих свойств с различными показателями горных пород (гранулометрическим составом, пористостью и др.), определяемыми в лабораторных условиях.

Геофизические методы дают результаты, пригодные для предварительных ориентировочных оценок фильтрационных свойств и гидрогеологического расчленения изучаемого разреза. Среди этих методов следует выделить: 1) электролитический метод (резистивиметрия), используемый в трещиноватых породах, а также в рыхлых отложениях, не содержащих значительных количеств глинистых и пылеватых частиц; 2) расходомерию, применяющуюся в незакольтатированных глинистым раствором стволах скважин; 3) термометрию, проводимую в основном для изучения слабопроницаемых разделяющих водоносные горизонты пород; 4) акустические методы каротажа, применяющиеся в трещиноватых породах; 5) радиоактивный каротаж, использующийся для выделения водоносных горизонтов и определения пористости горных пород.

Моделирование дает возможность определять и уточнять гидрогеологические параметры на основе решения комплекса обратных задач, используя результаты режимных наблюдений или наблюдений за изменением уровней и расходов в процессе проведения опытно-фильтрационных работ. Оно обеспечивает достаточно высокую надежность определения параметров и целесообразно в сложных гидрогеологических условиях при отсутствии возможности достоверного определения фильтрационных свойств другими методами.

Для обеспечения требуемой надежности определения гидрогеологических параметров и повышения экономической эффективности гидрогеологических исследований целесообразно комплексировать различные методы определения фильтрационных свойств с учетом конкретных гидрогеологических условий изучаемого объекта, характера и требований решаемых задач, технических возможностей и экономической эффективности отдельных используемых методов, последовательности их проведения и других факторов.

§ 1. Основные виды полевых опытно-фильтрационных работ, их задачи и условия применения

К полевым опытно-фильтрационным работам относятся полевые гидродинамические опыты по определению фильтрационных свойств горных пород. Это различного вида откачки, наливыв и нагнетания в скважины, наливыв в шурфы, экспресс-наливыв и экспресс-откачки, опережающее опробование водоносных горизонтов, опробование с помощью испытателей пластов и некоторые другие методы. В учебнике к специальным видам опытно-фильтрационных работ отнесены и традиционно считавши-

еся геофизическими методами резистивиметрия и расходомерия, являющиеся в своей основе гидродинамическими (замеры и анализ профиля расхода потока в скважине), но используемые с широким применением геофизической аппаратуры.

Все указанные методы обеспечивают определение с той или иной степенью достоверности различных гидрогеологических параметров изучаемых горных пород на основе использования получаемой в процессе опытной фильтрации информации о значениях напоров, расходов, скоростей движения воды и других показателей. Достоверность определения параметров определяется степенью соответствия выбранной для обработки опытных данных фильтрационной схемы реальным условиям фильтрации в процессе опыта.

В результате проведения и обработки опытно-фильтрационных работ в зависимости от поставленной задачи определяются следующие основные гидрогеологические параметры: *кривая дебита* $Q = f(S_c)$, *коэффициент фильтрации* K (или значение водопроницаемости $T = Kt$ или $T = Kh_{cp}$), радиус влияния R , коэффициент пьезопроводности a (или уровнепроницаемости для грунтовых вод), водоотдача пород в безнапорных потоках μ и показатель упругой водоотдачи μ^* , показатель несовершенства скважин ξ_0 , параметр перетекания B , показатель, характеризующий закольматированность и несовершенство вреза русловых отложений, скорость движения подземных вод.

Для обработки результатов опытно-фильтрационных работ в настоящее время широко используются формулы неуставившейся и установившейся фильтрации с акцентом на применение решений неуставившегося движения подземных вод, что обеспечивает повышение эффективности выполняемых работ за счет сокращения их продолжительности и более полного определения параметров потоков подземных вод (в частности, параметров неуставившейся фильтрации: уровнепроницаемости, пьезопроводности, упругой водоотдачи и др.).

Основной и наиболее распространенный вид опытно-фильтрационных работ — откачки, которым отдается предпочтение почти всегда при опробованиях водоносных пород, особенно при проведении изысканий для целей водоснабжения, осушения и дренажа.

На участках с глубоким залеганием подземных вод, а также в условиях, неблагоприятных для проведения откачек (слабая водообильность и водоотдача пород), при необходимости определения гидрогеологических параметров ненасыщенных водой пород применяются наливывы и нагнетания в скважины, опытные наливывы в шурфы. Опытные нагнетания целесообразны при оценке фильтрационных свойств и удельного водопоглощения трещиноватых скальных и полускальных водоносных пород, а опытные наливывы в скважины главным образом в неводонасыщенных рыхлых и трещиноватых породах зоны выветривания. Опытные наливывы в шурфы используются для изучения водопроницаемости необводненных связанных и рыхлых горных пород в естественном залегании.

Экспресс-методы применяются для ориентировочной сравнительной оценки фильтрационных свойств водоносных пород на первоначальных стадиях гидрогеологических исследований, для выявления объектов и обоснования объемов дальнейших гидрогеологических исследований, характеристики водопроницаемости пород в разрезе и решения некоторых других задач. В настоящее время экспресс-опробование водоносных горизонтов осуществляется с помощью опережающего опробования в процессе бурения скважин, применения специальных испытателей и опробователей пластов, экспресс-откачек и экспресс-наливов, расходомерии, термометрии и других методов (1, 7, 11, 15).

§ 2. Методы определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек

Откачки подземных вод из скважин — один из основных, наиболее надежных, но вместе с тем и дорогостоящих видов фильтрационного опробования водоносных горизонтов (затраты на откачки нередко достигают 35—60% от общих затрат на разведку подземных вод). Поэтому правильное обоснование их видов, объемов и методики проведения во многом определяет эффективность и успех решения поставленных задач.

Виды откачек и их назначение. В зависимости от назначения все откачки, которые проводятся при поисках и разведке различных типов месторождений подземных вод, подразделяются на три вида: пробные, опытные и опытно-эксплуатационные. Они отличаются главным образом продолжительностью опытных работ и конструкцией опытного куста. В связи с этим для проведения полевых опытных работ необходимо четко установить задачи, для решения которых проектируются опытно-фильтрационные исследования.

Наиболее массовым видом откачек при поисках и разведке подземных вод являются пробные, которые проводятся практически на всех скважинах, пробуренных в процессе гидрогеологических исследований (поисковых, разведочных, наблюдательных). Они выполняются для предварительной оценки фильтрационных свойств и водообильности пород, качества подземных вод и сравнительной характеристики различных участков и зон водоносных горизонтов. Пробные откачки (выпуски) проводятся кратковременно (6—48 ч), как правило, на одну ступень понижения уровня.

Основной вид фильтрационных работ на стадиях предварительной и детальной разведки — опытные откачки. Они проводятся для решения следующих вопросов: 1) определения основных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (дебита, величины понижения уровня, коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, пьезо- и уровнепроводности, водоотдачи, перетекания, приведенного радиуса влияния, суммарного сопротивления русловых отложений и др.); 2) изучения граничных условий водоносных

горизонтов в плане и разрезе (взаимосвязи подземных и поверхностных вод, взаимодействия смежных горизонтов и т. д.); 3) установления оптимальной производительности эксплуатационных скважин и зависимости между дебитом скважины и понижением уровня в ней; 4) определения величин срезок уровня в пределах участка расположения водозабора при совместной работе нескольких взаимодействующих эксплуатационных скважин.

Опытные откачки подразделяются на *кустовые* и *одиночные*. Одиночные опытные откачки проводятся для установления зависимости дебита от понижения $Q=f(s)$ и в отличие от пробных выполняются на две-три ступени понижения уровня. Кустовые откачки — основной вид опытных работ, если задачей откачек является определение гидрогеологических параметров, изучение граничных условий, опытное определение величин срезок уровня.

Кустовые опытные откачки позволяют более надежно и полно изучить параметры потока в зоне влияния откачки, исключить влияние фильтра и призабойной зоны центральной скважины на точность определения параметров и, наконец, определить непосредственно показатель обобщенного сопротивления скважины (ζ_0), что имеет большое значение для прогноза условий работы проектируемых водозаборных и дренажных сооружений.

Разновидностью кустовых откачек являются *опытные групповые откачки*, которые проводятся для изучения условий взаимосвязи водоносных горизонтов и определения основных гидрогеологических параметров на тех участках, где отбор воды из одиночной скважины не может обеспечить необходимой точности расчетов в связи с незначительными абсолютными величинами понижений уровня.

Опытно-эксплуатационные откачки из одной или нескольких скважин проводятся только на стадии детальной разведки в сложных гидрогеологических и гидрогеохимических условиях, которые не могут быть отображены в виде расчетной схемы. Цель опытно-эксплуатационных откачек — установление закономерностей изменения уровней подземных вод или их качества при заданном водоотборе. Проводятся они довольно длительное время (1—3 месяца и более) при дебитах скважин, близких к проектному водоотбору, и их данные принимаются за основу при прогнозах условий работы водозаборных и дренажных сооружений.

Методы обработки результатов откачек. Определение гидрогеологических параметров осуществляется, как уже отмечалось, на основе обработки данных о поведении уровней и дебитов в процессе опытно-фильтрационных работ. При этом методы обработки опытных данных основаны на использовании аналитических решений в различных их модификациях в соответствии с характером и полнотой полученной информации. Достоверность определения параметров определяется степенью соответствия выбранной для обработки опытных данных фильтрационной схемы реальным условиям фильтрации в процессе опыта. Сложность и разнообразие гид-

рогеологических условий, сложный характер формирования режима подземных вод при опытных откачках, когда одинаковые закономерности изменения уровней и расходов могут быть вызваны влиянием самых различных факторов (как естественных, так и искусственных), существенно затрудняют выбор фильтрационной схемы и требуют обязательного всестороннего анализа условий проведения опыта и обоснованной интерпретации данных опытно-фильтрационных работ. Конечной целью этого обязательного этапа работ является обоснованный выбор расчетной интерпретационной схемы, учитывающей с оптимальной полнотой и надежностью природные и технические условия проведения опыта [1, 9, 10].

При проведении опытных откачек с целью определения параметров особое внимание необходимо уделять вопросам установления источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, оценке влияния особенностей строения водовмещающих пород и границ области фильтрации и различного рода других специфических факторов на закономерности и особенности поведения уровней и дебитов скважин. Это обеспечивает обоснованный выбор фильтрационной схемы, достоверное определение расчетных гидрогеологических параметров и надежность выполняемых впоследствии инженерных оценок и прогнозов.

Режим движения подземных вод при опытных откачках определяется гидрогеологическими условиями (строением водовмещающей толщи и граничными условиями ее в плане и в разрезе), естественным режимом подземных вод и техническими условиями проведения опыта. В первоначальный период откачки движение подземных вод имеет резко выраженный неустойчивый характер. Однако уже через сравнительно небольшой период времени вокруг опытной скважины начинает развиваться зона с квазиустойчивым характером режима (кривые депрессии в этой зоне перемещаются параллельно самим себе). По мере дальнейшего развития депрессионной воронки на ее формирование могут оказать влияние перетекание из смежных в разрезе горизонтов, дополнительные источники питания, границы пласта и другие факторы. В зависимости от характера действия указанных факторов режим движения подземных вод может стабилизироваться (при открытых границах и дополнительном питании) или оставаться неустойчивым (при закрытых границах и отсутствии дополнительных источников питания). Соответственно этому и определение параметров по данным откачки следует проводить с учетом особенностей того или иного режима фильтрации и характера действующих в процессе откачки факторов.

В условиях стабилизации режима движения подземных вод в процессе опыта определение расчетных гидрогеологических параметров можно проводить как по формулам неустойчивой и квазиустойчивой фильтрации, используя первый период откачки, так и по формулам установившейся фильтрации на основе наблюдений в период стабилизации движения подземных вод.

Современные методы определения гидрогеологических параметров по данным откачек базируются в основном на уравнениях неустановившегося движения (в частных случаях — на формулах квазистационарной и стационарной фильтрации).

В зависимости от характера используемой опытной информации методы определения параметров условно разделяются на две группы [1].

Методы первой группы используют данные того периода откачек, при котором закономерности изменения уровня в процессе опыта определяются только фильтрационными и емкостными свойствами опробуемого горизонта (влияние границ пласта в плане и в разрезе еще не сказывается).

Методы второй группы используют информацию того периода опыта, когда закономерности изменения уровней подземных вод во времени и пространстве определяются не только фильтрационными и емкостными свойствами горизонта, но и условиями на его границах. В соответствии с этим в первом случае для определения параметров используются уравнения, описывающие закономерности движения подземных вод к скважинам в неограниченных изолированных водоносных горизонтах, во втором — решения, учитывающие закономерности притока воды к скважинам в условиях влияния границ (ограниченные пласты и схемы с перетеканием). Методы второй группы наряду с основными гидрогеологическими параметрами горизонтов (K , T , μ , μ^* , a) позволяют определять такие параметры, как коэффициент перетекания, несовершенство вреза русла водоема и др., однако они более трудоемки для интерпретации, в связи с чем, там где это возможно, следует отдавать предпочтение методам первой группы. К использованию схем ограниченных пластов следует прибегать лишь при необходимости определения параметров перетекания и взаимосвязи подземных вод с поверхностными.

При определении гидрогеологических параметров используют либо данные о понижениях уровня в различных точках пласта в какой-то момент времени, либо данные об изменении уровня подземных вод в какой-либо точке пласта во времени. При этом достоверность определения параметров повышается с увеличением количества точек наблюдений за изменением уровня.

В зависимости от характера используемой гидрогеологической информации и приемов ее обработки на практике для определения параметров используют различные методы: подбора, характерных точек, эталонных кривых, прослеживания уровня во времени и по площади (графоаналитические методы), аналитические и др. С позиций достоверности определения параметров наиболее предпочтительными являются графоаналитические методы прослеживания уровня и метод эталонных кривых: менее достоверными и информативными — методы, основанные на использовании ограниченной гидрогеологической информации (методы подбора, характерных точек, аналитические и др.).

Ниже рассмотрены различные методы и способы обработки результатов откачек при опробовании главным образом пресных и слабоминерализованных вод, когда не требуется учитывать влияние таких специфических факторов, как изменение температуры, проявление газовой составляющей, гидравлических потерь на преодоление сопротивлений по стволу скважины, и некоторых других. Специфика оценки и учета влияния указанных факторов при проведении опытно-фильтрационных работ и обработка их результатов освещена в специальной литературе [1, 2, 5, 6, 10, 11, 13 и др.].

На практике, учитывая незначительную продолжительность откачек, для определения параметров используется схема откачки из артезианских или грунтовых совершенных (или несовершенных) скважин, расположенных в условно однородных изолированных в разрезе и неограниченных в плане пластах, когда зависимость между понижением уровня S и временем t описывается соответственно уравнениями Тейса:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{ и } (2H_e - S)S = \frac{Q}{2\pi K} W(u), \quad (\text{IV.1})$$

где Q — постоянный во времени дебит скважины, T — водопроницаемость; $W(u)$ — функция скважины, соответствующая интегральному экспоненциалу — $Ei(-u)$; u — аргумент функции скважины, равный $r^2/4at$ (r — расстояние от возмущающей скважины до точки, в которой обеспечивается понижение уровня S); H_e — естественная мощность потока грунтовых вод.

В условиях квазиустановившейся фильтрации формула Тейса видоизменяется, так как при значении аргумента $u = r^2/4at < 0,09 \div 0,15$ функция скважины $W(u)$ с точностью 5—10% может быть представлена в виде ее логарифмического приближения $W(u) \approx \ln(2,25at/r^2)$, и выражения (IV.1) приобретают вид

$$\begin{aligned} S &= \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25at}{r^2} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R_t}{r} \text{ и } (2H_e - S)S = \\ &= \frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{2,25at}{r^2} = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R_t}{r}. \end{aligned} \quad (\text{IV.2})$$

Уравнения (IV.2) аналогичны формулам Дюпюи для стационарной фильтрации (в них $R_t = 1,5\sqrt{at}$ — приведенный радиус влияния). Это позволяет использовать традиционные приемы теории установившейся фильтрации для определения параметров в условиях квазиустановившегося режима движения подземных вод.

Методы определения параметров по результатам откачек из однородных изолированных в разрезе неограниченных пластов. Приемы обработки результатов откачки рассмотрены на примере наиболее распространенной схемы — напорного изолированного в разрезе условно однородного пласта. Отметим, что они в равной мере справедливы и при откачках из безнапорных пластов. Если величина понижения уровня в грунтовых водах не превышает 15—20%

первоначальной их мощности, то можно с достаточной для целей практики точностью вести обработку результатов откачек как для напорных вод. В противном случае следует использовать соответствующие зависимости для грунтового потока.

В условиях кратковременных откачек и при использовании наблюдений первого периода длительных откачек определение расчетных гидрогеологических параметров проводится на основе методов подбора, эталонной кривой и характерных точек.

Метод подбора основан на сопоставлении величин понижения уровня в одной и той же точке потока (в скважине) на два момента времени либо в двух разных точках потока на один момент времени и подборе значений параметров, удовлетворяющих рассчитываемое соотношение понижений уровня.

Если, например, при откачке из напорного водоносного горизонта с постоянным дебитом ($Q = \text{const}$) в наблюдательной скважине, расположенной на расстоянии r от центральной, в моменты времени t_1 и t_2 зафиксированы понижения уровня S_1 и S_2 , то на основе уравнения (IV.1) можно записать следующее соотношение:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{W(r^2/4at_2)}{W(r^2/4at_1)}. \quad (\text{IV.3})$$

В выражении (IV.3) известны все величины, кроме значения пьезопроводности a , которое и подлежит определению методом подбора. Для этого обычно задаются несколькими значениями a и, получив соответствующие величины S_2/S_1 , строят вспомогательный график $S_2/S_1 = f(a)$, по которому, исходя из соотношения наблюдаемых понижений S_2/S_1 , находят расчетное значение пьезопроводности a .

При найденном значении пьезопроводности коэффициент водопроводимости определяется из выражения для S_1 или S_2 :

$$T = \frac{Q}{4\pi S_1} W(u_1) \text{ или } T = \frac{Q}{4\pi S_2} W(u_2), \quad (\text{IV.4})$$

где $u_1 = r^2/4at_1$, $u_2 = r^2/4at_2$.

Метод подбора нельзя признать надежным, так как определение параметров осуществляется по двум замерам. Для более обоснованного определения параметров этим методом следует проводить повторные определения по новым замерам, а выбор замеров для сопоставлений контролировать составлением графика $S = f(t)$.

Метод эталонной кривой заключается в составлении графика зависимости $\lg S = f[\lg(t/r^2)]$ по данным опыта и последующем совмещении его с эталонной кривой — графиком зависимости $\lg W$ от $\lg(1/u)$. Совмещение графиков, построенных в одинаковом масштабе, проводится до удовлетворительного их совпадения по большинству точек при условии сохранения параллельности координатных осей (рис. 16). Снимая далее координаты любой

точки совмещенного графика $\lg S$, $\lg W$, $\lg (t/r^2)$ и $\lg (1/u)$, определяют водопроницаемость T и пьезопроводность соответственно из уравнений:

$$\lg \frac{Q}{4\pi T} = \lg S - \lg W \text{ и } \lg 4a = \lg \left(\frac{1}{u} \right) - \lg \left(\frac{t}{r^2} \right). \quad (\text{IV.5})$$

Для удобства совмещения опытной и эталонной кривых последняя строится на кальке; для ее построения можно воспользоваться следующими данными [15]:

$\lg (1/u) - 0,3$	$-0,15$	$0,0$	$0,15$	$0,3$	$0,5$	$0,7$	1	$1,3$
$\lg W$	$-1,31$	$-0,943$	$-0,66$	$-0,433$	$-0,254$	$-0,062$	$0,086$	$0,26$
	$0,393$							

Необходимо отметить, что построенные в системе координат $\lg S - \lg (t/r^2)$ графики для разных наблюдательных скважин должны совпадать и по степени

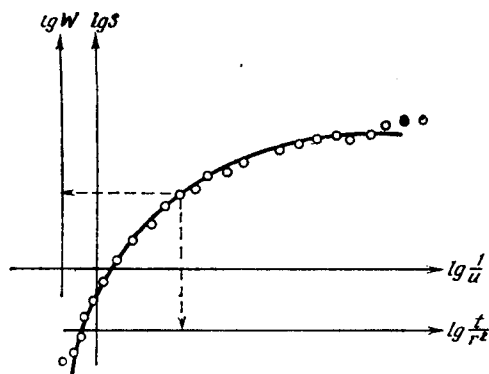


Рис. 16. Схема к определению параметров методом эталонной кривой

их совпадения можно судить о соответствии исходного уравнения (IV.1) реальным условиям фильтрации при откачке, а также о степени однородности и изолированности опробуемого горизонта [11].

Метод характерных точек основан на использовании для определения параметров характерных точек кривой изменения уровня в наблюдательных скважинах (точка начала реагирования, точка перегиба,

точка касания). Существенного распространения в практике опытно-фильтрационных исследований метод не получил.

В условиях квазиустановившейся фильтрации, время наступления которой t_k при точности замены экспоненциальной функции логарифмической до 5% определяется критерием $t_k \geq 2,5(r^2/a)$, возможно использование графоаналитических и аналитических методов, основанных на логарифмической зависимости понижения уровня от времени, т. е. на исходных формулах (IV.2).

Наиболее широким распространением в практике гидрогеологических расчетов пользуются графоаналитические методы определения параметров, основанные на возможности представления исходных уравнений движения воды к скважине в виде уравнения прямой линии. Например, исходное уравнение (IV.2), описывающее неустановившееся движение воды к совершенной артезианской скважине, работающей в неограниченном пласте, мо-

жет быть представлено в виде следующих трех формул:

$$S = \frac{0,183Q}{T} \left(\lg \frac{2,25a}{r^2} + \lg t \right); \quad (\text{IV.6})$$

$$S = \frac{0,183Q}{T} \left(\lg 2,25a + \lg \frac{t}{r^2} \right); \quad (\text{IV.7})$$

$$S = \frac{0,366Q}{T} \left(\frac{1}{2} \lg 2,25at - \lg r \right). \quad (\text{IV.8})$$

Все три приведенные формы записи одного и того же уравнения (IV.2) представляют собой уравнения прямой линии в разных

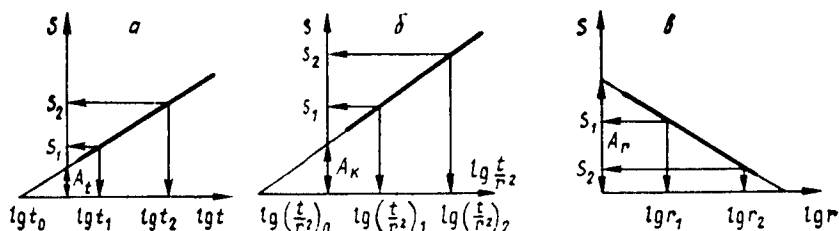


Рис. 17. Графики зависимости $S=f(\lg t)=f[\lg(t/r^2)]$, $S=f(\lg r)$

системах координат: (IV.6) — в координатах $S-\lg t$; (IV.7) — в координатах $S-\lg(t/r^2)$ и, наконец, (IV.8) — в координатах $S-\lg r$ (рис. 17). Угловой коэффициент каждой из прямых, описываемых уравнениями (IV.6—IV.8), определяется членом уравнения, стоящим перед скобкой, а величина, отсекаемая прямыми на оси абсцисс (по линии нулевого понижения уровня) — первыми членами уравнения в скобках. В аналогичных трех формах может быть соответственно представлено и исходное уравнение, характеризующее движение подземных вод к совершенной грунтовой скважине, работающей в неограниченном пласте.

В соответствии с тремя приведенными формами исходных уравнений можно использовать три способа графоаналитической обработки данных опытных откачек, получивших на практике наименование способов временного, комбинированного и площадного прослеживания.

Обработка и представление опытных данных в виде прямой, описываемой уравнением (IV.6), широко используется как при одиночных, так и при кустовых откачках. Для каждой фиксированной точки (скважины) может быть построен график $S=f(\lg t)$, позволяющий проводить определение расчетных параметров (рис. 17, а).

Обработка и представление опытных данных в виде графиков $S=f[\lg(t/r^2)]$ и $S=f(\lg r)$, описываемых соответственно уравнения-

ми (IV.7) и (IV.8), возможны при наличии достаточного количества наблюдательных скважин (не менее трех-четырех).

Значения расчетных параметров — коэффициентов водопроводимости и пьезопроводности — определяются по угловым коэффициентам C и начальным ординатам A , снимаемым с соответствующих прямолинейных графиков прослеживания. Формулы для расчета параметров по всем трем видам прослеживания приведены в табл. 2. Угловые коэффициенты графиков прослеживания определяются по двум точкам прямой соответственно по отношениям: $C = (S_2 - S_1) / (\lg t_2 - \lg t_1)$ — для временного, $C = (S_2 - S_1) / [\lg (t/r^2)_2 - \lg (t/r^2)_1]$ — для комбинированного и $C = (S_2 - S_1) / (\lg r_2 - \lg r_1)$ — для площадного прослеживания. Для удобства угловые коэффициенты можно вычислять как разность понижений, принимая: $\lg t_2 - \lg t_1 = 1$, $\lg (t/r^2)_2 - \lg (t/r^2)_1 = 1$, $\lg r_2 - \lg r_1 = 1$.

Таблица 2

Способ обработки, график	Расчетные формулы для определения параметров	
	водопроводимости	пьезопроводности
Временное прослеживание $S=f(\lg t)$	$T=0,183Q/C_t$	$\lg a=2\lg r-0,35+A_t/C_t$
Комбинированное прослеживание $S=f(\lg t/r^2)$	$T=0,183Q/C_k$	$\lg a=A_k/C_k-0,35$
Площадное прослеживание $S=f(\lg r)$	$T=0,366Q/C_r$	$\lg a=2A_r/C_r-0,35-\lg t$

Определение параметров, и в частности коэффициента пьезопроводности, при описываемых способах прослеживания возможно также по величине отрезка, отсекаемого прямолинейными графиками на оси абсцисс (по линии нулевого понижения). Эти отрезки (соответственно $\lg t_0$, $\lg (t/r^2)_0$ и $\lg r_0$, рис. 17), как уже отмечалось, определяются первыми членами уравнений (IV.6—IV.8), стоящими в скобках. В соответствии с этим при известных величинах указанных отрезков (снимаются с графиков) для определения коэффициента пьезопроводности могут быть использованы соответственно следующие формулы:

$$a=r^2/2,25t_0; a=0,445(r^2/t)_0 \text{ и } a=r_0^2/2,25t. \quad (\text{IV.9})$$

Определяемые таким образом значения пьезопроводности должны совпадать со значениями пьезопроводности, рассчитываемыми по формулам табл. 2. При известных значениях водопроводимости и пьезопроводности может быть определена величина упругой водоотдачи $\mu^*=T/a$.

Ниже для примера дается более обстоятельное описание одного из графоаналитических методов определения параметров, который

в практике гидрогеологических исследований называют *способом временного прослеживания* [1, 12].

При временном прослеживании используется видоизмененная форма исходного уравнения квазиустановившейся фильтрации (IV.6), которое аппроксимируется в виде прямой линии в системе координат $S - \lg t$. Действительно, принимая в уравнении (IV.6)

$$\frac{0,183Q}{T} \lg \frac{2,25a}{r^2} = A_t \text{ и } \frac{0,183Q}{T} = C_t, \quad (\text{IV.10})$$

получаем уравнение прямой линии в виде

$$S = A_t + C_t \lg t. \quad (\text{IV.11})$$

Таким образом, если опытные данные по любой из скважин нанести на график $S = f(\lg t)$, откладывая по оси абсцисс логарифмы времени, а по оси ординат — соответствующие рассматриваемым моментам времени значения понижения уровня, то на основе полученного прямолинейного графика можно определить величины A_t и C_t , а из них с учетом соотношений (IV.10) — значения водопроводимости T и коэффициента пьезопроводности a . Величина A_t представляет собой начальную ординату прямой $S = f(\lg t)$, т. е. отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат. Величина C_t численно равна угловому коэффициенту прямой и может быть определена по любым двум точкам, лежащим на прямой $S = f(\lg t)$, координаты которых снимаются непосредственно с графика (рис. 17, а).

Значения коэффициентов водопроводимости и пьезопроводности определяются из соотношений (IV.10) по формулам табл. 2.

Если опытная скважина несовершенна, то при обработке данных откачек графоаналитическим методом методика определения параметров остается прежней. Несколько видоизменяется лишь расчетная формула для определения коэффициента пьезопроводности, которая принимает следующий вид:

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A_t}{C_t} - 0,434\zeta, \quad (\text{IV.12})$$

где ζ — величина гидравлического сопротивления, учитывающая несовершенство скважины (определяется по графикам или таблицам в зависимости от l_0/m и m/r) [6, 7, 13 и др.]. Для наблюдательных скважин величина ζ незначительна и ею можно пренебречь.

Обработка результатов опытных откачек из безнапорных водоносных горизонтов проводится так же, как и для напорных. Если величина понижения уровня S составляет не более 20% от первоначальной мощности водоносного горизонта H_e , то для безнапорных вод можно с допустимой для практики погрешностью определять расчетные параметры как для напорных вод, пользуясь графиком $S = f(\lg t)$. Если это условие не соблюдается, то для определения параметров необходимо построить график $(2H_e - S)S = f(\lg t)$, также выражающийся прямой линией, уравнение кото-

рой имеет вид

$$(2H_e - S)S = \frac{0,366Q}{K} \lg \frac{2,25a}{r^2} + \frac{0,366Q}{K} \lg t. \quad (IV.13)$$

Снимая с графика значения коэффициентов A_i (отрезок, отсекаемый на оси ординат) и C_i (угловой коэффициент прямой), определяют коэффициенты фильтрации K и уровнепроводности a соответственно из выражений (IV.14):

$$K = \frac{0,366Q}{C_i} \text{ и } \lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A_i}{C_i}. \quad (IV.14)$$

При построении графиков $S=f(\lg t)$ и $(2H_e - S)S=f(\lg t)$ понижение уровня и время выбираются в наиболее удобных размерностях (понижение в метрах или сантиметрах, время — в сутках, часах, минутах). Необходимо только помнить, что размерность коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности) зависит от размерностей понижения уровня и времени, выбранных при построении графика. Так, при измерении понижения уровня в метрах, а в времени в сутках пьезопроводность будет иметь размерность $\text{м}^2/\text{сут}$ (S в м, t в ч, a в $\text{м}^2/\text{ч}$). Размерность водопроводности или коэффициента фильтрации, определяемых по формулам табл. 2 и (IV.14), зависит только от размерности дебита. При измерении Q в $\text{м}^3/\text{сут}$ размерность водопроводности будет $\text{м}^2/\text{сут}$, а коэффициента фильтрации — $\text{м}/\text{сут}$; при измерении Q в $\text{м}^3/\text{ч}$ размерность T будет $\text{м}^2/\text{ч}$, а K — $\text{м}/\text{ч}$ и т. д.

При определении параметров по центральной скважине в расчетные формулы подставляется $r=r_c$, а по наблюдательной — расстояние ее до центральной. Как показывает опыт, определение коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности) по центральной скважине обычно дает неудовлетворительные результаты из-за неучета сопротивлений, возникающих в призабойной зоне. Поэтому для достоверного определения значений a рекомендуется использовать опытные данные по наблюдательным скважинам.

При нанесении результатов откачек на графики $S=f(\lg t)$ и $(2H_e - S)S=f(\lg t)$ не все точки наблюдений укладываются на прямые линии. В силу влияния разнообразных факторов (технические условия проведения опыта, строение пласта, режим подземных вод, влияние непроницаемых границ и источников питания и др.) графики прослеживания могут характеризоваться разбросом точек и отклонениями опытных зависимостей от прямолинейных. В таких условиях уже сама форма графиков временного прослеживания может свидетельствовать об особенностях фильтрации в процессе опыта и способствовать идентификации гидрогеологических условий. На рис. 18 представлены типовые графики $S=f(\lg t)$, характеризующие закономерности изменения уровня во времени в различных гидрогеологических условиях (типовые расчетные схемы) при действии различных факторов. Анализ этих графиков позволяет более целенаправленно и обоснованно подходить к проведению

опытных работ, интерпретации их результатов и определению расчетных гидрогеологических параметров [1, 6, 7, 9—13].

При откачке из напорного водоносного горизонта, изолированного в разрезе и неограниченного в плане (рис. 18, А), на графике $S=f(\lg t)$ выделяется два участка: криволинейный I, отвечающий периоду неустановившейся фильтрации и соответственно экспонен-

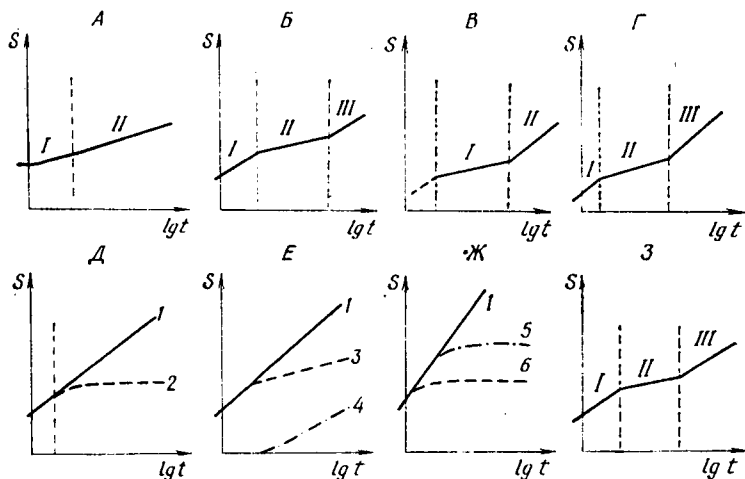


Рис. 18. Закономерности изменения уровня при откачках и типовых гидрогеологических условиях:

А — неограниченный напорный однородный пласт; Б — безнапорный пласт; В — пласты, сложенные трещиноватыми и трещинно-карстовыми породами; Г — двухслойная толща с изменяющимся напором в верхнем слое; Д — слоистая толща с постоянным напором в верхнем слое; Е — слоистая толща с разделяющим водоупором при переменном напоре в верхнем слое; Ж — водоносный пласт у реки; З — пласт с границей неоднородности по водоотдаче (напорно-безнапорный пласт); 1 — по Тейсу, 2 — при перетекании, 3 — при перетекании в опробуемом горизонте, 4 — при перетекании в питающем горизонте, 5 — при несовершенной связи с рекой, 6 — при совершенной связи с рекой

циальной зависимости (IV.1) понижения S от времени t , и прямолинейный II, характеризующийся логарифмической зависимостью понижения уровня от времени и отвечающий периоду квазистационаризованной фильтрации. Разброс точек на графике объясняется главным образом нерегулярными изменениями дебита (особенно по возмущающим скважинам) и ошибками замеров. В связи с этим необходимо проводить частичную отбраковку точек и осреднение графика. При этом для осреднения используют совокупность точек, явно тяготеющую к прямолинейной зависимости. Допустимой считается такая степень рассеяния точек, при которой относительное расхождение между коэффициентами водопроводимости по крайним вариантам рисовки прямой не превышает 25% [1].

При откачке из безнапорного неограниченного в плане горизонта (рис. 18, Б) режим движения подземных вод может быть заметно осложнен проявлением вертикальных составляющих скоро-

сти фильтрации у скважины, изменением водоотдачи во времени и другими факторами, в связи с чем график зависимости $(2H_e - S) \cdot S = f(\lg t)$ будет иметь более сложный вид, чем при откачке из напорного водоносного горизонта [1, 9—13, 15].

В общем случае (рис. 18, Б), на графике $(2H_e - S)S = f(\lg t)$ выделяются три участка I, II и III, характеризующиеся специфическими режимами фильтрации. В первый период откачки (участок I) понижение формируется практически так же, как и в напорном изолированном пласте с упругой водоотдачей при логарифмическом характере изменения понижения уровня во времени. Во второй период (участок II) отмечается выполаживание графика, вызванное замедлением темпа снижения уровня в процессе формирования гравитационной водоотдачи (эффект Болтона). Отличительной особенностью этого периода является кажущаяся стабилизация уровня к его концу, в связи с чем он получил название периода ложностационарного режима. Продолжительность его зависит от коэффициента фильтрации водоносного горизонта, его водоотдачи и мощности, и, как показывает опыт откачек из безнапорных горизонтов, составляет обычно несколько суток. Наличие периода ложностационарного режима предъявляет особые требования к методике проведения опытных откачек. Если, например, откачка будет закончена до начала третьего периода, то могут быть сделаны качественно неверные выводы о практической стабилизации движения и получены завышенные параметры.

Третий участок графика $(2H_e - S)S = f(\lg t)$ соответствует логарифмической аппроксимации уравнения Тейса при гравитационной водоотдаче. Таким образом, в безнапорных водоносных горизонтах, залегающих в рыхлых отложениях, в отличие от напорных пластов квазистационарный режим при гравитационной водоотдаче формируется с определенным запаздыванием, и это необходимо учитывать при проведении откачек и их обработке.

Анализ фактических данных показывает, что первые два участка отмечаются далеко не на всех графиках. Интерпретация результатов временного прослеживания в таких условиях связана с необходимостью поиска представительного расчетного участка. Определяемые параметры должны быть подтверждены другими способами прослеживания (комбинированным и площадным).

Аналогичные отмеченным закономерности поведения уровня наблюдаются при откачках из водоносных горизонтов, сложенных трещиноватыми и трещинно-карстовыми породами (рис. 18, В), и из двухслойной толщи с изменяющимся напором в верхнем слое (рис. 18, Г). Детальный анализ закономерностей поведения уровня при откачках для этих и других типовых схем, изображенных на рис. 18, приведен в специальных методических руководствах [1, 6, 9—13]; там же даны и рекомендации по проведению опытных работ и интерпретации их результатов в конкретных условиях.

Аналогично изложенному проводится определение параметров графоаналитическим методом с использованием графика $S =$

$=f[\lg(t/r^2)]$, аппроксимирующего зависимость (IV.7), и графика $S=f(\lg r)$, аппроксимирующего зависимость (IV.8), т. е. способами комбинированного и площадного прослеживания уровня.

При комбинированном прослеживании используется информация о поведении уровня во времени одновременно по нескольким наблюдательным скважинам с построением общего графика $S=f(\lg t/r^2)$ и последующим определением на его основе коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности по формулам табл. 2.

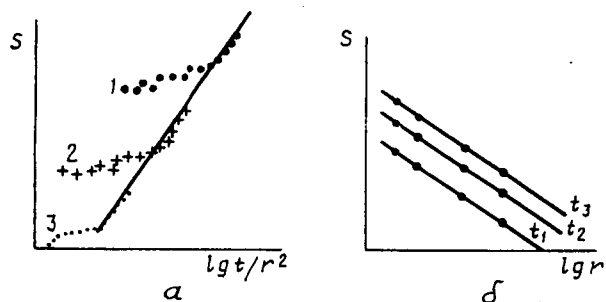


Рис. 19. Графики комбинированного (а) и площадного (б) прослеживания уровня

При влиянии специфических факторов (постепенное формирование гравитационной водоотдачи во времени, трещиноватые породы с двойной пустотностью) могут отмечаться несовпадения данных по отдельным скважинам с постепенным их выходом на общую асимптотическую часть графика, которая и является в таких условиях расчетной (рис. 19, а, 1—3 — номера наблюдательных скважин).

Следует отметить, что при обработке результатов откачек способом комбинированного прослеживания построение графиков проводится в системе координат $S-\lg(r^2/t)$ или $S-\lg(t/r^2)$, что отражается лишь на уклоне графиков (слева направо или справа налево).

При площадном прослеживании используется информация о поведении уровня по площади с построением графика $S=f(\lg r)$ на основе единовременных замеров в наблюдательных скважинах. Для контроля графики $S=f(\lg r)$ обычно строят на несколько моментов времени, удовлетворяющих критерию $t \geq 2,5r^2/a$. Отклонения от прямолинейной зависимости обычно отмечают на конечных участках графиков $S=f(\lg r)$, так как дальние скважины могут не попасть в зону квазистационарного режима. Надежным критерием квазистационарности и свидетельством однородности пласта является параллельность прямолинейных графиков $S=f(\lg r)$, построенных на разные моменты времени (рис. 19, б). Значения параметров T и a определяются аналогично вышеизложенному по расчетным формулам табл. 2 с использованием величин A_r и C_r , снимаемых с прямолинейной части графика $S=f(\lg r)$.

Графоаналитическое прослеживание восстановления уровня. Рассмотренные методы прослеживания уровня, подбора и эталонной кривой применимы также для определения параметров по данным наблюдений за восстановлением уровня после прекращения откачки. При этом вместо понижений берут повышания уровней, отсчитываемые от динамических уровней, замеренных перед окончанием откачки; за расчетный дебит принимается расход воды при откачке; время t отсчитывается от конца откачки. Обработка данных восстановления уровня может быть выполнена с учетом или без учета «наследства» откачки.

При не очень длительных откачках (при соблюдении критерия $t \geq 0,1 t_0$) обработку данных о восстановлении уровней в скважинах следует вести с учетом продолжительности откачки. В качестве уравнения, описывающего восстановление уровня, используется следующее выражение:

$$S = \frac{0,183Q}{T} \lg \frac{(t_0 + t)}{t}, \quad (\text{IV.15})$$

которое учитывает одновременное действие как бы продолжающейся откачки и нагнетания воды с тем же дебитом (нагнетание учитывается с момента реального прекращения откачки).

В соответствии с этой формулой определение параметров осуществляется способом временного прослеживания, на основе построения графиков в координатах $S - \lg[(t_0 + t)/t]$ или $S - \lg[t/(t_0 + t)]$ (здесь t_0 — длительность откачки, t — время восстановления, отсчитываемое от конца откачки). С учетом определяемого по графику углового коэффициента C_t параметры пласта рассчитываются по формулам:

$$T = 0,183Q/C_t \text{ и } \lg a = 2 \lg r - 0,35 + S_{\max}/C_t - \lg t_0, \quad (\text{IV.16})$$

где $S_{\max}$ — максимальное понижение или восстановление уровня.

При длительных откачках и быстром восстановлении уровня (т. е. при $t \leq 0,1 t_0$) влиянием «наследства» откачки можно пренебречь и считать справедливым для учета восстановления уровня уравнение в форме (IV.2). Тогда обработка данных восстановления уровня проводится точно так же, как и для понижения, т. е. способами временного, комбинированного и площадного прослеживания с использованием информации по периоду восстановления уровня, отвечающему критерию $t \leq 0,1 t_0$. При этом остаются справедливыми все расчетные формулы табл. 2.

По результатам обработки восстановления уровня получают, как правило, более качественные определения, чем по данным о снижении уровней вследствие незначительного влияния на ход восстановления уровня технических факторов, таких, как изменение дебита при откачке, эффект заполнения емкости скважин и др. Последнее следует учитывать лишь для возмущающих скважин при условии $Qt/\omega S_{\max} \leq 20$ (здесь t — время восстановления, ω — площадь сечения скважины, $S_{\max}$ — величина восстановления уровня).

Располагая значениями водопроводимости и пьезопроводности, определенными по преобразованным графикам понижения или восстановления уровня в наблюдательных скважинах, можно *графоаналитически* определить *показатель суммарного сопротивления* ξ_0 по данным понижения уровня в центральной скважине. Для этого необходимо построить график зависимости $\bar{S}_t = f[\ln(R_n/r_c)]$, откладывая по оси абсцисс значения $\ln(R_n/r_c)$ (где на каждый момент времени величина радиуса влияния определяется по зависимости $R_n = 1,5\sqrt{at}$), а по оси ординат — значения $\bar{S}_t = 2\pi km S_t / Q$ (где S_t — понижение уровня воды в центральной скважине на соответствующий момент времени t). Опытные данные при таком построении должны укладываться на прямую, которая будет отсекают на оси ординат отрезок, численно равный величине показателя суммарного сопротивления скважины ξ_0 (рис. 20).

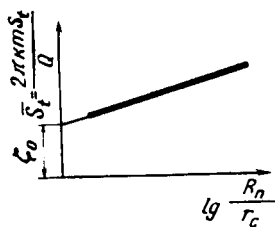


Рис. 20. Графоаналитическое определение показателя ξ_0

Аналитические методы определения параметров при квазиустановившемся характере фильтрации основаны на сопоставлении величин понижения уровня S_1 и S_2 , фиксируемых в одной и той же точке (скважине) на два момента времени t_1 и t_2 либо в двух точках потока, расположенных на расстояниях r_1 и r_2 от возмущающей скважины, на один и тот же момент времени. Эти методы могут использоваться при отсутствии систематических замеров понижения уровня и невозможности применения графоаналитических методов определения параметров.

Соответствующие формулы для аналитических расчетов могут быть легко получены при рассмотрении разности двух понижений уровня с использованием при этом исходного уравнения квазиустановившейся фильтрации (IV.2). При сопоставлении понижений уровня в одной точке на два момента времени для определения водопроводимости и пьезопроводности используются формулы:

$$T = \frac{0,183Q}{S_2 - S_1} \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \text{ и } \lg a = \frac{5,47TS_1}{Q} - \lg \left(\frac{2,25t_1}{r^2} \right). \quad (\text{IV.17})$$

При сопоставлении понижений по двум точкам на один и тот же момент времени t соответственно формулы:

$$T = \frac{0,366Q}{S_1 - S_2} \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \text{ и } \lg a = \frac{5,47TS_1}{Q} - \lg \left(\frac{2,25t}{r_1^2} \right) \quad (\text{IV.18})$$

Попутно заметим, что при сопоставлении понижений S_1 и S_2 , фиксируемых в двух точках потока в любой момент времени t периода квазиустановившейся фильтрации, расчетная формула для определения водопроводимости (IV.18) оказывается идентичной соответствующей формуле установившейся фильтрации. Это лишь раз подтверждает необоснованность требования о проведении

опытных откачек до стабилизации уровней и возможность использования основных приемов и зависимостей установившейся фильтрации для обработки результатов откачки в условиях квазиустановившегося режима.

Детально вопросы применения уравнений установившейся и неустановившейся фильтрации подземных вод к скважинам для определения значений различных гидрогеологических параметров по результатам опытно-фильтрационных работ рассматриваются в курсе «Динамика подземных вод» [см., например, 7, 9, 15].

Учет характера возмущения в процессе откачек. Обязательными условиями применимости изложенных методов и приемов определения параметров являются постоянство дебита опытной скважины и однородность пород опробуемого горизонта. При нарушении этих условий требуются соответствующая корректировка приемов обработки результатов откачек и учет возможных отклонений.

Изменение дебита опытной скважины в процессе откачки ведет к усложнению приемов обработки ее результатов, увеличению трудоемкости и вероятности случайных ошибок, поэтому вполне обоснованным и правильным является стремление к проведению откачек с постоянным дебитом, к сосредоточению возмущающих скважин при групповой откачке и их одновременному пуску.

Если в процессе откачки наблюдаются незакономерные колебания дебита относительно его средней величины, то в расчет принимается осредненное значение дебита и обработка результатов откачки ведется по методике, учитывающей постоянство дебита. При закономерных изменениях дебита (ступенчатое, линейное, параболическое и др.) применяются другие приемы учета этих изменений, которые можно проиллюстрировать на примере обработки результатов опытных выпусков и групповых откачек.

Опытные выпуски. При кустовых опытных выпусках, практикуемых при избыточных напорах над устьем опробуемых скважин, имеют место постоянное понижение и переменный во времени дебит для опытных скважин и переменное понижение уровня в наблюдательных скважинах. Это приводит к необходимости применения различных способов определения параметров: для опытной (возмущающей) скважины по временной закономерности изменения дебита, для наблюдательных — по закономерностям изменения приведенного понижения $\bar{S} = S/Q_t = f(t)$.

Обработка данных выпуска по возмущающей скважине ведется на основе формулы (IV.19), в соответствии с которой при $at/r_c^2 > 100$

$$Q_t = \frac{TS_c}{0,183 \lg(2,25at/r_c^2)}, \quad (\text{IV.19})$$

где S_c — постоянное во времени понижение уровня в опытной скважине.

Представляя зависимость (IV.19) в виде уравнения прямой линии $1/Q_t = A_t + C_t \lg(t)$, где $C_t = 0,183/TS_c$ — угловой коэффициент,

а A_t — начальная ордината прямолинейной части графика $1/Q_t = f(\lg t)$, получаем возможность определения водопроводности T по величине углового коэффициента, т. е. $T = 0,183/C_t S_c$. Определение пьезопроводности по возмущающей скважине производить нецелесообразно.

При опробовании глубоких горизонтов (> 200 м) и значительном дебите опытной скважины величину S_c следует принимать с учетом потерь напора ΔH в скважине, определяемых по формуле (IV.20):

$$\Delta H = 30,9 \frac{Q^{1,85} L}{d^5}, \quad (\text{IV.20})$$

где Q — дебит скважины, л/с; L — длина колонны обсадных труб, м; d — внутренний диаметр колонны, см (ΔH определяется в м).

Понижение уровня в наблюдательных скважинах при выпусках с $S = \text{const}$ для периода времени $t_k \geq 500r^2/a$ аппроксимируется уравнением вида (IV.2), в котором дебит изменяется по зависимости (IV.19) и которое может быть записано в виде прямой относительно приведенного понижения S/Q_t в различных координатах, аналогично тому, как это было показано на примере откачек с постоянным дебитом. Таким образом, для обработки данных об изменении понижений уровня в наблюдательных скважинах при выпуске с переменным дебитом можно использовать рассмотренные выше приемы временного, площадного и комбинированного прослеживания с той лишь разницей, что при этом рассматриваются зависимости изменения приведенного понижения $S = S/Q_t$ и соответственно составляются графики прямых $S/Q_t = A_t + C_t \lg t$ (при временном прослеживании), $S/Q_t = A_r - C_r \lg r$ (при площадном прослеживании) и $S/Q_t = A_k + C_k \lg(t/r^2)$ при комбинированном прослеживании).

Коэффициенты водопроводности и пьезопроводности определяются по угловым коэффициентам и начальным ординатам прямолинейных частей получаемых графиков по формулам, приведенным в табл. 2, с той лишь разницей, что в формулы для определения водопроводности не входит величина дебита, которая учитывается в значениях приведенного понижения S/Q_t .

Для обеспечения более достоверного определения параметров и контроля обработку данных опытных выпусков следует вести всеми возможными способами, отдавая предпочтение методам прослеживания понижения перед методами прослеживания восстановления уровня, особенно при значительных изменениях дебита (в 1,5—2 раза) в процессе опытов.

Отметим, что рассмотренные приемы обработки опытных данных применимы при обработке откачек с переменным дебитом, который имеет линейный, логарифмический или параболический характер изменения. В расчетных формулах для определения пьезопроводности вместо числового коэффициента 0,35 используется коэффициент 0,08 при линейном и 0,29 при логарифмическом и пара-

болическом характера изменения дебита [1]. По аналогичной методике обрабатываются и данные групповых выпусков, когда в качестве дебита Q_i рассматривается суммарный дебит возмущающих скважин, а в качестве расстояния r до наблюдательных скважин принимается приведенное расстояние $r_{пр}$, которое определяется из

условия $\lg r_{пр} = \sum_{i=1}^n Q_i \lg r_i / Q_{сум}$. Для наблюдательных скважин ведется обработка с построением графиков $S/Q_{сум} = f(\lg t)$, $S/Q_{сум} = f(\lg r_{пр})$, $S/Q_{сум} = f(\lg t/r_{пр}^2)$. Для возмущающих скважин строится график временного прослеживания суммарного дебита $1/Q_{сум} = f(\lg t)$ с определением водопроводимости по формуле $T = 0,183/C_s S_c$, в которой вместо S_c принимается среднеарифметическое понижение по всем возмущающим скважинам.

Групповые откачки. Для обеспечения ощутимого понижения уровня в водообильных пластах выполняются откачки из нескольких опытных скважин одновременно (групповые откачки). Время включения каждой возмущающей скважины в действие может быть разным (асинхронное возмущение) или одновременным (синхронное возмущение), сами возмущающие скважины могут быть сосредоточенными или рассредоточенными, дебит их может быть постоянным или скачкообразно меняющимся. Основываясь на принципе суперпозиции и рассматривая каждую ступень изменения суммарного дебита групповой откачки $\pm \Delta Q_i$ как самостоятельное возмущение, можно представить понижение в любой наблюдательной скважине в виде суммы понижений от каждого возмущения ΔQ . Путем несложных преобразований суммы понижений, каждое из которых описывается уравнением (IV.2), получаем следующую формулу:

$$S = \frac{0,183 Q_n}{T} \lg \frac{2,25 a t_{пр}}{r_{пр}^2}, \quad (IV.21)$$

где Q_n — суммарный дебит системы скважин на данной ступени возмущения, $t_{пр}$ и $r_{пр}$ — приведенное время опыта и приведенное расстояние. Приведенное время опыта определяется в соответствии с выражением

$$\lg t_{пр} = \frac{Q_1 \lg t \pm \Delta Q_1 \lg(t - t_2) \pm \dots \pm \Delta Q_{n-1} \lg(t - t_n)}{Q_n}, \quad (IV.22)$$

где Q_1 — начальный суммарный дебит; ΔQ_i — соответствующее изменение суммарного дебита ($i=1, 2, \dots, n-1$), $\Delta Q_1 = Q_2 - Q_1, \dots, \Delta Q_{n-1} = Q_n - Q_{n-1}$; t — текущее время опыта от начала работы всей системы; t_i — время начала соответствующих ступеней суммарного дебита ($i=1, 2, 3, \dots, n$). Знак плюс означает возрастание, минус — уменьшение суммарного дебита. Приведенное расстояние до рассматриваемой наблюдательной скважины $r_{пр}$ определяется

с учетом выражения $\lg r_{пр} = \sum_{i=1}^n Q_i \lg r_i / Q_n$, где Q_i — дебиты отдель-

ных возмущающих скважин на данной ступени возмущения ($i = 1, 2, \dots, n$); r_i — расстояния от интересующей наблюдательной до каждой действующей возмущающей скважины (знак плюс означает включение, знак минус — остановку соответствующей возмущающей скважины).

Обработка данных группового асинхронного опыта производится способом, аналогичным обработке откачек с постоянным дебитом, т. е. временным, площадным и комбинированным прослеживанием на основе графиков в координатах $S - \lg t_{\text{пр}}$, $S - \lg r_{\text{пр}}$, $S - \lg(t_{\text{пр}}/r_{\text{пр}}^2)$. Обработка производится отдельно для каждой ступени возмущения. Расчетные формулы аналогичны приведенным в табл. 2, при этом в них принимается $t = t_{\text{пр}}$ и $r = r_{\text{пр}}$.

Варианты рассредоточенного синхронного и сосредоточенного асинхронного возмущения являются частными случаями рассмотренного группового асинхронного возмущения. В первом случае нет необходимости в учете приведенного времени ($t_{\text{пр}} = t$), во втором — в учете приведенного расстояния ($\lg r_{\text{пр}} = \lg r$). При скачкообразном характере возмущения обработка результатов групповых откачек может осуществляться с использованием графиков временного, площадного и комбинированного прослеживания приведенного понижения S/Q на всех ступенях возмущения, что обеспечивает наибольшую степень свертывания опытной информации и надежность получаемых результатов [1].

Откачки в условиях ограниченных пластов и слоистых толщ. Схемы откачки в условиях влияния одной или нескольких границ пласта (проницаемых или непроницаемых), а также в условиях взаимосвязи смежных в разрезе водоносных горизонтов (слоистые толщи) используются в практике гидрогеологических исследований сравнительно редко, так как они требуют применения своеобразных способов обработки опытных данных и приемов интерпретации их результатов. Тем не менее во многих случаях оказывается возможным использовать способы временного, площадного и комбинированного прослеживания применительно к условиям неограниченного в плане пласта. Основным вопросом при интерпретации графиков прослеживания является выделение наиболее представительного участка графика, который еще не испытывает влияния границ или других действующих факторов и может соответственно использоваться для определения фильтрационных и емкостных свойств опробуемого горизонта. При использовании этих способов обработки и интерпретации опытных данных предъявляются определенные ограничения к исходной информации.

В частности, как это показано в работе [1], в зоне потока размером $m \leq r \leq 0,45l$ (где l — расстояние от возмущающей скважины до ближайшей границы) в течение времени $t_k \leq t \leq 5t_k$ с достаточной для целей практики точностью (погрешность $< 10\%$) справедлива логарифмическая аппроксимация формулы Тейса в виде (IV.2). Это дает основания к использованию информации по всем наблюдательным скважинам, расположенным в этой зоне, для оп-

с учетом значений r_i^* и ρ_i^* приобретает вид

$$T = \frac{0,366Q}{S_1 - S_2} \lg \left(\frac{r_{2\rho_1}}{r_{1\rho_2}} \right). \quad (\text{IV.24})$$

Аналогичным образом могут быть записаны расчетные формулы и для других схем расположения скважин.

Одним из важнейших параметров, который может быть определен по результатам откачек на прибрежном участке, является дополнительное фильтрационное сопротивление ложа реки ΔL , которое интегрально учитывает несовершенство вреза и фильтрационную неоднородность русловых отложений. Для его определения можно использовать несколько методов. Один из них — метод подбора величины ΔL , удовлетворяющей уравнению Форхгеймера, записанному применительно к определению величины понижения в одной из наблюдательных скважин. Например, для определения понижения в наблюдательной скважине № 3 (рис. 21) расчетная формула имеет вид

$$S_3 = \frac{0,366Q}{T} \lg \frac{2(l + \Delta L) - r_3}{r_3}. \quad (\text{IV.25})$$

При известных величинах водопроводимости (определяется заранее, например, по наблюдательным скважинам на параллельном реке луче) и понижения S_3 значение ΔL определяется подбором по формуле (IV.25). Метод подбора может использоваться и в других модификациях (например, по соотношению понижений в двух точках).

Более универсальным является графоаналитический способ подбора, заключающийся в построении серии графиков $S = f(\lg \rho_i/r_i)$, использующих информацию по нескольким наблюдательным скважинам (здесь ρ_i — расстояние от рассматриваемых наблюдательных скважин до зеркального отображения возмущающей скважины с учетом принимаемого значения ΔL). Как следует из формулы (IV.23), график $S = f(\lg \rho/r)$ должен быть прямолинейным, проходящим через начало координат, с угловым коэффициентом $C = 0,366Q/T$. Из серии графиков, построенных при различных значениях ΔL , за расчетный принимается график, приходящий в начало координат. Величина водопроводимости определяется исходя из углового коэффициента этого графика по формуле $T = 0,366Q/C$.

При значительном количестве наблюдательных скважин, расположенных в зоне $r \leq 0,5l$ (где l — расстояние от возмущающей скважины до реки), возможно определение параметра ΔL на основе построения графика площадного прослеживания $S = f(\lg r)$. При этом совместно определяются водопроводимость (по формуле табл. 2) и параметр ΔL (по величине условного радиуса питания r_0 , отсекаемого прямолинейным графиком на оси абсцисс), который будет равен $\Delta L = 0,5r_0 - l$.

По результатам откачек из слоистых пластов в условиях перетекания для определения параметров (водопроводимости T , пьезо-

проводности a , перетекания B и др.) используют охарактеризованные ранее методы подбора и эталонных кривых, имея в виду что при этом справедливо уравнение

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W_{\pi}(u, \bar{r}), \quad (\text{IV.26})$$

где $W_{\pi}(u, \bar{r})$ — специальная табулированная функция [10, 11, 15], значения которой определяются в зависимости от $u = r^2/4at$ и $\bar{r} = r/B$ (где B — коэффициент перетекания).

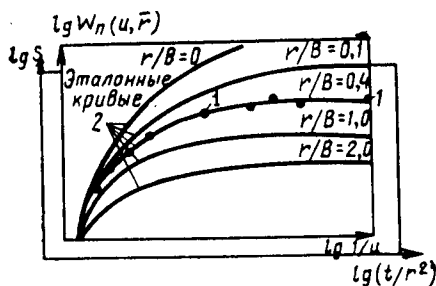


Рис. 22. Определение параметров по эталонным кривым в условиях перетекания:

1 — фактические точки графика $\lg S - \lg(t/r^2)$, 2 — эталонные кривые

В условиях неустановившейся фильтрации по данным о снижении уровня в наблюдательной скважине строится график в координатах $\lg S - \lg(t/r^2)$, который совмещается затем с эталонным графиком, представляющим собой серию кривых зависимости $W_{\pi}(u, \bar{r})$ от $\lg(1/u)$ для различных значений $\bar{r} = r/B$ (рис. 22). По значению r/B совмещенной эталонной кривой при известном расстоянии r определяется коэффициент перетекания B , а коэффициенты во-

допроводимости и пьезопроводности находятся по координатам любой точки совмещенных графиков из соотношений:

$$\lg(Q/4\pi T) = \lg S - \lg W_{\pi}(u, \bar{r}) \text{ и } \lg 4a = \lg(1/u) - \lg(t/r^2). \quad (\text{IV.27})$$

Более надежные значения параметров получаются при использовании информации по нескольким наблюдательным скважинам. При этом совмещение опытных кривых с эталонными осуществляется таким образом, чтобы удовлетворялось условие $r_1/r_2 = \bar{r}_1/\bar{r}_2$; $r_2/r_3 = \bar{r}_2/\bar{r}_3$ Определение параметров по совмещенным графикам осуществляется аналогично вышесказанному.

В условиях длительных откачек при стабилизации понижений в наблюдательных скважинах, когда уравнение (IV.27) принимает соответственно вид $S = \frac{Q}{2\pi T} K_0(\bar{r})$, используется либо метод под-

бора в форме $\frac{S_{r_1}}{S_{r_2}} = \frac{K_0(r_1/B)}{K_0(r_2/B)}$, либо метод эталонной кривой. В по-

следнем случае опытный график $\lg S = f(\lg r)$ совмещается с эталонной кривой, построенной в том же масштабе в координатах $\lg K_0(\bar{r}) - \lg \bar{r}$, а параметры T и B определяются по координатам любой точки совмещенных графиков соответственно из соотноше-

$$\lg(Q/4\pi T) = \lg S - \lg K_0(\bar{r}) \text{ и } \lg B = \lg r - \lg \bar{r}. \quad (\text{IV.28})$$

Рассмотренные приемы определения параметров слоистых толщ справедливы для условий постоянства напора в питающих пластах. При этом длительность откачек должна быть достаточна для проявления эффекта перетекания. При отсутствии его проявления для определения параметров пласта (T , a , μ) используются изложенные ранее для схемы изолированного в разрезе пласта способы и приемы.

Говоря о методах определения параметров, ограниченных в плане водоносных образований, следует несколько остановиться на своеобразном приеме определения обобщенных параметров, под которыми обычно понимают такие параметры, которые комплексно характеризуют опробованную часть водоносного пласта с учетом его водопроводящих и емкостных свойств и влияние его внешних границ. Обобщенные параметры определяются по конечным прямолинейным участкам графиков прослеживания $S=f(\lg t)$, которые количественно учитывают влияние установленных непроницаемых или полупроницаемых границ пласта, а прогнозные расчеты ведутся по зависимостям для неограниченного в плане пласта, т. е. реальный пласт при расчетах заменяется некоторым неограниченным пластом, который с учетом определенных для него обобщенных параметров является эквивалентом реальной области фильтрации, проявившей себя в процессе опыта. Один из наиболее важных и сложных вопросов при определении таких обобщенных параметров — вопрос о необходимой продолжительности откачек, обеспечивающей проявление всех основных факторов и границ области фильтрации, и соответствующий их учет в обобщенных параметрах.

§ 3. Методика организации и проведения откачек

Методика проведения откачек зависит от их назначения, стадии гидрогеологических исследований и конкретных природных условий изучаемого месторождения подземных вод. В понятие методики включаются вопросы выбора вида откачки, схемы опытного куста и его местоположения, характера и степени возмущения, продолжительности откачки и контроля ее проведения, обоснования конструктивных особенностей опытных и наблюдательных скважин [1, 6, 8—12].

Выбор вида откачки (пробная, опытная одиночная, кустовая или групповая, опытно-эксплуатационная) определяется ее целевым назначением (см. § 2 настоящей главы) и стадией исследований.

Пробные откачки выполняются на всех стадиях гидрогеологических исследований: на стадии поисков — для сравнительной характеристики фильтрационных свойств пластов на отдельных участках, оценки качества воды и положения уровней водоносных

горизонтов; на стадиях предварительной и детальной разведки — для оценки качества скважин и предварительного определения их возможной производительности.

Опытные одиночные откачки проводятся на стадиях предварительной и детальной разведки из разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин с целью определения зависимости дебита от понижения уровня. Для решения этой задачи требуются откачки на две ступени понижения уровня в зернистых коллекторах и на две-три ступени в трещиноватых [1]. При хорошем качестве призабойной зоны одиночные откачки могут использоваться для ориентировочной оценки водопроводимости. Информативность и надежность результатов одиночных откачек могут быть повышены при совместном их проведении и увязке с кустовыми откачками, расходомерией и резистивиметрией.

Опытные кустовые откачки осуществляются на стадиях предварительной и детальной разведки главным образом для определения расчетных гидрогеологических параметров и оценки граничных условий. Если при откачке из одной скважины не удастся добиться достаточно надежных для последующей интерпретации понижений уровня (в связи с высокой водопроводимостью водоносных горизонтов), проводится групповая откачка.

Опытные кустовые откачки — основной вид фильтрационного опробования, обеспечивающий правильную интерпретацию изучаемых гидрогеологических условий, надежное определение гидрогеологических параметров и контроль получаемых результатов. Поэтому дальнейшее рассмотрение вопросов методики проведения откачек дается главным образом применительно к кустовым откачкам.

Опытно-эксплуатационная откачка из одной или нескольких скважин проводится только на стадии детальной разведки в сложных гидрогеологических условиях для определения опытным путем возможной производительности водозабора или установления закономерностей изменения уровней при его эксплуатации, а также возможного изменения качественного состава подземных вод. Откачка проводится, как правило, в период межени стояния уровня подземных вод с одним максимально возможным дебитом (близким к проектному) продолжительностью 1—3 месяца и более. На каждом конкретном участке продолжительность опытно-эксплуатационной откачки должна обеспечивать квазистационарный режим по всем возмущающим и наблюдательным скважинам, а также проявление и учет всех основных факторов, осложняющих условия эксплуатации изучаемого месторождения. Схема расположения опытных скважин должна задаваться с учетом схемы расположения эксплуатационных скважин проектируемого водозабора.

Выбор местоположения и схемы опытного куста следует увязывать с положением и характером работы проектируемых инженерных сооружений (водозаборов, дренажей, каналов и др.). Распо-

ложение опытного куста должно обеспечивать в первую очередь детальное изучение участков проектируемых инженерных сооружений и зоны их влияния, по возможности исключая или сводя к минимуму влияние на условия проведения опыта различных осложняющих факторов (границ пласта в плане, зон неоднородности и др.). При наличии границ наблюдательные скважины следует располагать в зоне квазистационарной фильтрации потока размером $m \leq r \leq 0,5l$ (где l — расстояние от возмущающей скважины до ближайшей границы), исключая влияние граничных помех и обеспечивающей надежное определение гидрогеологических параметров методами прослеживания уровня. Если же задачей откачек является изучение граничных условий, опытный куст располагают вблизи изучаемой границы (с размещением наблюдательных скважин по обе стороны от нее), используя для определения гидрогеологических параметров зависимости, учитывающие влияние границ. Расположение точек одиночного опробования также должно способствовать изучению участков проектируемых сооружений и экстраполяции результатов кустовых откачек на прилегающие к ним зоны пласта.

Схема опытного куста, под которой понимается количество возмущающих и наблюдательных скважин и их взаимное расположение в плане и в разрезе, должна обосновываться с учетом степени и длительности предполагаемого возмущения, возможной фильтрационной схемы и методов интерпретации результатов опытных откачек. Ориентировочно она должна быть такой, чтобы при длительности возмущения 5—10 сут и величине понижения уровня в возмущающих скважинах 3—5 м обеспечивалось бы получение представительной информации о развитии депрессионной воронки в зоне квазистационарной фильтрации и чтобы при этом разность понижений в соседних наблюдательных скважинах и понижение в наиболее удаленной наблюдательной скважине существенно превышали точность замеров уровня подземных вод, составляя не менее 0,2—0,3 м. Подобное расположение скважин обеспечивает достоверное определение гидрогеологических параметров методами временного и площадного прослеживания уровня.

Количество наблюдательных скважин назначается в зависимости от степени сложности природных условий и интерпретируемости опытных данных, степени неоднородности пластов, глубины залегания опробуемых горизонтов и возможности использования в качестве наблюдательных других гидрогеологических скважин.

Для обеспечения надежного определения расчетных гидрогеологических параметров, их осреднения и контроля количество наблюдательных скважин в опытном кусте даже в сравнительно простых природных условиях должно быть не менее трех (при наличии принципиальной возможности определения всех параметров по одной-двум наблюдательным скважинам). В сложных природных условиях (поровые грунтовые и трещинные грунтовые и напорные водоносные горизонты, слоистые толщи в условиях перетекания,

неоднородность фильтрационных свойств) необходимо иметь 4—5 наблюдательных скважин, а в очень сложных природных условиях (трещинно-карстовые водоносные горизонты, существенная неоднородность, сочетание нескольких факторов аномальности) — от 4 до 10 наблюдательных скважин. Кроме наблюдательных скважин в зоне возмущения следует предусматривать хотя бы одну наблюдательную скважину вне ее (для выявления возможных фоновых изменений естественного режима). Во всех случаях (особенно при опробовании глубоких горизонтов), если имеется возможность увеличения числа наблюдательных скважин без дополнительных затрат (за счет использования ранее пройденных поисковых, картировочных, разведочных, режимных и других категорий скважин), следует этим воспользоваться (особенно в сложных для интерпретации природных условиях), а иногда даже пойти ради этого на увеличение продолжительности опыта.

Размещать наблюдательные скважины целесообразно по лучам, количество и ориентировка которых зависят от сложности условий опробуемого объекта, назначения куста, количества наблюдательных скважин и особенностей проектируемого на основе изысканий инженерного сооружения. Лучи наблюдательных скважин следует ориентировать в направлении выявленных или возможных изменений гидрогеологических условий (по направлениям затухающей или преобладающей трещиноватости, резкого изменения фильтрационных и емкостных свойств пород, проницаемых и непроницаемых границ пласта и т. п.). Обычно практикуют одно-, двух- и трехлучевые опытные кусты. Двухлучевые схемы опытных кустов используются при опробовании анизотропных (лучи — по осям анизотропии) и ограниченных пластов (лучи — параллельные и перпендикулярные границам). При малом количестве наблюдательных скважин задается один луч.

Возмущающие скважины (в зависимости от необходимой степени возмущения их может быть от одной до четырех) целесообразно располагать как можно более компактно в вершинах наблюдательных лучей, принимая расстояние между возмущающими скважинами не более $0,3 r_1$ в грунтовых и $0,5 r_1$ в напорных потоках (здесь r_1 — расстояние до ближайшей наблюдательной скважины). При этом отпадает необходимость в учете приведенных расстояний $r_{пр}$ при обработке результатов групповых откачек.

Наблюдательные скважины, как уже отмечалось, следует размещать в зоне эффективного влияния откачки при квазистационарном ее режиме. При этом первую наблюдательную скважину располагают на расстоянии r_1 от центральной, примерно равном мощности пласта. Последующие скважины размещают по лучам с увеличением расстояния между ними по закону геометрической прогрессии. При этом расстояние от возмущающей до соответствующей наблюдательной скважины r_n может быть определено по следующей полуэмпирической формуле [1]:

$$r_n = r_1 \alpha^{n-1}, \quad (IV.29)$$

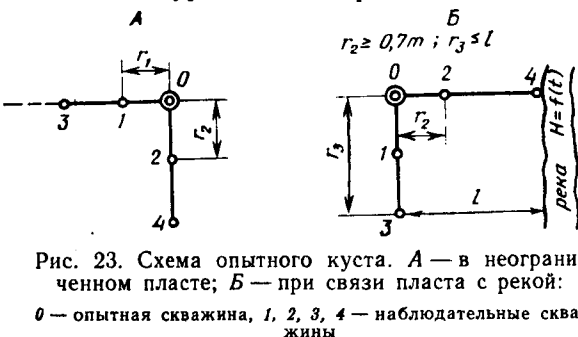
где r_1 — расстояние до ближайшей наблюдательной скважины (принимается обычно $r_1 \geq (0,7-1) m$; m — мощность опробуемого пласта; α — эмпирический коэффициент, принимаемый для безнапорных горизонтов равным 1,5 для напорных 2,5; n — порядковый номер наблюдательной скважины в луче в направлении от опытной (в одном луче располагают скважины с нечетными номерами, в другом — с четными, в третьем — с последующими нечетными и т. д., рис. 23).

В формуле (IV.29) эмпирические коэффициенты подобраны таким образом, чтобы при понижении уровня в центральной скважине на 3—4 м и длительности откачки около 10 сут разность понижений уровня в соседних и понижение в наиболее удаленной наблюдательной скважине составляли не менее 0,2 м. Исходя из этих условий максимальное удаление наблюдательных скважин следует ограничивать 150 м в безнапорных и 1500 м в напорных водоносных горизонтах.

Опытные кусты для опробования водоносных горизонтов и степени их взаимосвязи с рекой рекомендуется размещать по двухлучевой схеме (рис. 23, Б) с расположением не менее двух наблюдательных скважин на каждом из лучей. В параллельном луче скважины располагают в соответствии с вышеизложенными рекомендациями [например, по формуле (IV.29)], но не далее $(0,6-0,7) l$. В луче, перпендикулярном к реке, одну наблюдательную скважину располагают вблизи центральной на расстоянии $r \geq 0,7 m$, вторую — непосредственно на урзе реки (на узких реках — еще одну на другом берегу реки). Для оконтуривания воронки депрессии желательно иметь наблюдательную скважину и в направлении коренного берега на расстоянии $r \approx l$, а для учета естественных изменений уровня еще одну вне зоны влияния откачки.

При опробовании слоистых толщ с перетеканием в первом приближении следует руководствоваться рекомендациями для опытного куста в грунтовых водах (с заложением наблюдательных скважин на все взаимосвязанные горизонты в тех же точках, что и на основной горизонт). При этом одна из наблюдательных скважин должна быть расположена рядом с возмущающей, а самая далекая — быть в зоне $r \leq (0,3-0,4) B$.

Изложенные рекомендации в отношении размещения наблюдательных скважин и продолжительности опытных откачек следует



считать ориентировочными, подлежащими уточнению при выполнении полевых работ на каждом конкретном участке с учетом целевого назначения откачек и гидрогеологических особенностей изучаемого объекта. Рекомендуемая схема размещения скважин опытного куста должна проверяться прогнозными расчетами ожидаемых понижений исходя из возможной фильтрационной схемы, предполагаемого дебита и продолжительности откачки, а также ориентировочных значений расчетных гидрогеологических параметров.

Характер и степень возмущения. Современная методика позволяет обрабатывать результаты откачек при скачкообразном, линейном, логарифмическом и более сложном характере возмущения, но при этом существенно возрастает трудоемкость обработки и интерпретации результатов опыта. Поэтому во всех случаях следует стремиться к простому и постоянному в процессе опыта характеру возмущения. Откачки необходимо проводить с постоянным во времени дебитом, отвечающим номинальной производительности выбранного насоса, избегая нерегулярных его колебаний. Опробование скважин, дающих воду самоизливом, возможно при условии постоянства понижения уровня с обязательным получением информации об изменении уровней по наблюдательным скважинам. Однако и в этом случае целесообразно вести опробование с постоянным дебитом, переводя возмущающие скважины на крановый режим выпуска.

При откачках на несколько ступеней понижения их следует проводить, начиная с меньшего понижения уровня (в трещиноватых породах и мелкозернистых неоднородных песках наоборот), которое должно быть не менее 1—2 м и вместе с тем в 2—3 раза меньше максимально возможного. При переходе с большего понижения уровня на меньшее откачку прекращают до полного восстановления пониженного уровня воды.

Степень возмущения при откачках должна быть достаточной для того, чтобы при ориентировочной их продолжительности 5—10 сут обеспечить значительное снижение уровня в пределах опробуемой части пласта (не менее 3—5 м в опытных скважинах и не менее 0,2—0,5 м в наблюдательных) и представительное по времени развитие квазистационарной фильтрации в зоне размещения наблюдательных скважин. Исходя из этих требований для выбора необходимой степени возмущения (дебита откачек) можно воспользоваться следующими рекомендациями, которые обобщают опыт опробования 30 месторождений подземных вод различного типа и результаты аналитических расчетов [1].

1. При опробовании дочетвертичных песков, слабых песчаников и некарстующихся трещинных водовмещающих пород, коэффициенты водопроводимости которых изменяются в пределах 50—500 м²/сут, рекомендуются дебиты 5—25 л/с.

2. При опробовании четвертичных аллювиальных песков, аллювиально-пролювиальных песчано-гравийных отложений, трещинно-

поровых водовмещающих пород с рассеянным карстом, коэффициенты водопроводимости которых изменяются в пределах 500—1000 м²/сут, рекомендуемые дебиты 25—50 л/с.

3. При опробовании галечников с песчано-гравийным заполнителем и трещинно-карстовых массивов, коэффициенты водопроводимости которых находятся в интервале 1000—3000 м²/сут, рекомендуются дебиты 50—150 л/с.

При назначении дебита возмущающих скважин следует учитывать данные предварительного опробования (пробных откачек и прокачек).

В условиях весьма водообильных горизонтов, обладающих значительной водопроводимостью (>1000 м²/сут), для обеспечения необходимой степени возмущения требуется проведение откачки из нескольких возмущающих скважин (2—4), оборудованных достаточно мощными насосами (групповые откачки). При этом следует обеспечивать компактное их размещение, постоянство дебита и синхронность их работы.

Продолжительность откачек определяется их целевым назначением и гидрогеологическими условиями изучаемых объектов. Она должна обеспечивать определение искомых параметров наиболее надежными методами (как правило, основанными на анализе закономерностей квазиустановившейся фильтрации). Исходя из этого продолжительность пробных и одиночных опытных откачек следует ограничивать 1—2 сут (при необходимости разглинizations горизонта она может быть увеличена до 2—3 сут). Продолжительность кустовых откачек должна обеспечивать полное развитие квазистационарной фильтрации в зоне размещения наблюдательных скважин. Исходя из необходимости получения хорошо выраженного прямолинейного участка на графике временного прослеживания целесообразно ориентироваться на продолжительность откачки, определяемую критерием $t \geq 5 t_k$, где время наступления квазистационарной фильтрации t_k принимается для дальней наблюдательной скважины из условия $t_k \geq 2,5 r^2/a$. Наиболее четким критерием для прекращения кустовой откачки служит выход на общую асимптоту графиков комбинированного прослеживания $S = f[\lg(t/r^2)]$, построенных для различных наблюдательных скважин, а также получение четко выраженной картины временной изменчивости уровней, характерной для данных гидрогеологических условий.

С учетом изложенных по размещению наблюдательных скважин рекомендаций может быть принята следующая ориентировочная проектная продолжительность кустовых откачек, проводимых для определения основных параметров: 1) при откачках из напорных водонесных горизонтов рыхлых отложений 5—10 сут; 2) при откачках из безнапорных горизонтов рыхлых отложений, из напорных и безнапорных горизонтов трещиноватых и закарстованных пород, а также из горизонтов двухслойного строения 10—15 сут. Такая же продолжительность 10—15 сут рекомендуется и

при определении степени взаимосвязи поверхностных и подземных вод при расположении опытных кустов вблизи реки (на расстоянии до 30 м). При удалении опытного куста от реки и при затрудненной связи подземных вод с поверхностными (экранирующий заиленный слой) требуется проведение более длительных откачек (до 20—30 сут).

Продолжительность специальных кустовых откачек, проводимых для оценки условий взаимосвязи водоносных горизонтов через разделяющие слабопроницаемые отложения, может достигать 30—40 суток и более. Такие откачки желательно проводить при значительном снижении уровня и высоких дебитах возмущающих скважин в условиях, когда имеются существенные предпосылки для перетекания (мощность разделяющих слоев не более 20—30 м, а их коэффициент фильтрации более 10^{-4} м/сут).

В процессе проведения откачек ведутся наблюдения за изменением расходов и уровней подземных вод во всех возмущающих и наблюдательных скважинах с постепенно убывающей частотой. Последовательность и частота замеров уровня, определяемая темпами его снижения в точках наблюдения, должна обеспечивать выявление закономерностей его изменения в процессе опытных работ. Исходя из возможностей и целесообразности комплексного применения различных методов обработки результатов опытных работ рекомендуется проводить замеры уровня в процессе откачки в первые два часа через 5—10 мин, в последующие 12 ч через 0,5—1 ч и далее через 2—3 ч до конца откачки. Замеры уровня в процессе восстановления: первые 15—20 мин через 1—2 мин, далее в течение 1—2 ч через 3—10 мин, затем через час до получения представительных материалов.

Все приведенные количественные рекомендации по размещению опытных кустов, степени и продолжительности возмущения, частоте измерений следует рассматривать как ориентировочные, которые должны уточняться при проектировании откачек на основе выполнения предварительных (разведочных) расчетов по приближенным значениям параметров, а в процессе проведения откачек — на основе анализа выявляемых зависимостей $S=f(t)$, $S=f(\lg t)$, $S=f[\lg(t/r^2)]$, $S=f(\lg r)$, $Q=f(t)$ и др.

Конструктивные особенности возмущающих и наблюдательных скважин должны по возможности исключать влияние различных технических факторов (несовершенство вскрытия пласта, изменения призабойной зоны, емкость и инерционность скважин) на выявляемые в процессе опытов закономерности изменения уровня [1, 9—12]. Опытные скважины должны быть совершенными по степени и характеру вскрытия горизонтов, а ближайшие наблюдательные скважины, как правило, расположенными на расстояниях, превышающих мощность опробуемого пласта. В условиях откачки из горизонтов небольшой мощности (до 20 м) целесообразно стремиться к оборудованию совершенных опытных кустов, в которых опытные и наблюдательные скважины вскрывали бы водоносный

горизонт полностью и закреплялись фильтрами со скважностью 10—20%. Особенно это важно при опробовании сложнослоистых толщ, обладающих существенной анизотропией. В пластах значительной мощности скважины куста могут быть несовершенными, но при этом необходимо стремиться к тому, чтобы поперечные оси фильтров опытных и наблюдательных скважин находились в одной плоскости (параллельной или совпадающей с осевой плоскостью опробуемого водоносного горизонта). Это обеспечивает исключение ошибок, вызываемых вертикальной анизотропией разреза. Наблюдательные скважины при этом должны обладать незначительной инерционностью (малая емкость скважин, незначительные сопротивления фильтра и призабойной зоны), которая оценивается с помощью экспресс-наливов (учет инерционности необязателен при $t \geq (15 \div 20) \omega_c / T$, где ω_c — поперечное сечение наблюдательной скважины).

Диаметры фильтровых колонн возмущающих скважин и глубина скважин должны обеспечивать размещение в них намечаемого для проведения откачки водоподъемного оборудования, а диаметры наблюдательных скважин — намечаемого для замеров оборудования и возможность проведения пробных откачек. Оборудование скважин опытного куста должно обеспечивать замеры и регулирование дебита при откачке (расходомеры, водомеры, счетчики и др.), снятие с необходимой частотой информации о положении уровня воды во всех скважинах, отбор проб воды для анализов, отвод откачиваемой воды на необходимое расстояние и удовлетворять другим требованиям технологии проведения откачек [1, 6—12].

В процессе проведения опытных откачек выполняется их текущая камеральная обработка и составляется следующая полевая документация: 1) журнал откачки; 2) хронологические графики зависимости дебита и понижения уровня в центральной и наблюдательных скважинах от времени: $Q=f(t)$, $S_0=f(t)$ и $S_H=f(t)$; 3) графики зависимости дебита и удельного дебита от понижения уровня: $Q=f(S)$ и $q=f(S)$; 4) графики $S=f(\lg t)$, $S=f[\lg(t/r^2)]$, $S=f(\lg r)$.

Хронологические графики следует составлять в таком масштабе, чтобы по ним можно было легко установить режим движения подземных вод. Поэтому целесообразно применять искаженный вертикальный масштаб. Наиболее нагляден вертикальный масштаб 1 см на графике — 10 см в натуре. При больших абсолютных значениях понижений уровня построение можно начинать с условного нуля.

Построение во время опыта хронологических графиков, особенно $S=f[\lg(t/r^2)]$ и $S=f(\lg t)$, по всем точкам наблюдений обеспечивает надежный контроль за качеством и правильностью проведения опыта, служит основой для регулирования частоты и системы наблюдений и дает основание для своевременного прекращения откачки.

После окончания опытных откачек во всех скважинах обязательны наблюдения за восстановлением динамического уровня с построением всех необходимых хронологических графиков.

§ 4. Методика организации и проведения опытных нагнетаний и наливов в скважины и шурфы

Опытные нагнетания и наливыв в скважины проводят для изучения и оценки водопроницаемости обводненных пород в условиях, затрудняющих организацию откачек (глубокое залегание подземных вод, слабая водоотдача, невозможность обеспечения ощутимых понижений уровня и т. д.), а также при изучении фильтрационных свойств слабообводненных и необводненных пород зоны аэрации. Для оценки фильтрационных свойств верхней части зоны аэрации (до глубин не более 5 м) применяют также наливыв в шурфы.

Опытные нагнетания и наливыв в скважины. Под опытными нагнетаниями следует понимать опыты, при которых осуществляется фильтрация воды при избыточном напоре над верхней границей опробуемого интервала. Если в процессе опыта уровень воды поддерживается в пределах толщи опробуемых горных пород, то это отвечает понятию опытного налива.

Сравнительная простота и стандартизация условий проведения опытных наливов и нагнетаний в скважины обусловили достаточно широкое использование этих методов для оценки водопроницаемости как обводненных, так и необводненных горных пород, особенно при изысканиях для целей гидротехнического строительства. При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях опытные нагнетания и наливыв широко применяются для определения водопроницаемости и удельного водопоглощения трещиноватых скальных пород; выявления необходимости цементации скального основания под инженерным сооружением; опробования трещиноватых пород при выборе вариантов оснований для проектируемых сооружений; проверки качества цементации скальных пород.

Опытные нагнетания — основной метод оценки водопроводимости неводоносных трещиноватых скальных и полускальных пород, так как в этих породах можно относительно просто и надежно изолировать опробуемый интервал скважины от остальной части ствола и сохранить требуемое качество изоляции даже при значительном напоре. Схема установки для нагнетаний показана на рис. 8.

Опытные наливыв рекомендуется применять главным образом в рыхлосвязных и трещиноватых породах зоны выветривания, относительная проницаемость которых характеризуется высоким удельным водопоглощением (где трудно обеспечить необходимую изоляцию опробуемого интервала скважины или невозможно создать избыточный напор).

Обычно нагнетания и наливыв проводятся при отсутствии наблюдательных скважин. Однако в целях получения более точных пока-

зателей желательно иметь хотя бы одну контрольную скважину, в которой можно было бы регистрировать появление воды в процессе опыта.

Режим фильтрации в процессе опытов может быть установившимся, если опыт ведется с постоянным напором (или расходом) до стабилизации расхода (или напора), или неуставившимся, если опыт идет при постоянном расходе ($Q = \text{const}$) или напоре ($H = \text{const}$). Это и определяет выбор соответствующих расчетных схем и формул.

Наливы и нагнетания в водоносные породы. При наливах и нагнетаниях в водоносные породы для расчетов параметров можно применять те же формулы, что и при откачках, с учетом конструктивных особенностей, степени несовершенства опытных скважин и расчетной схемы опыта. Наиболее часто для расчетов применяются аналитические зависимости, полученные для условий установившейся или неуставившейся фильтрации подземных вод в процессе откачек. При этом в расчетных формулах вместо понижений уровня учитываются соответствующие повышения уровня в центральной и наблюдательных скважинах.

Методика обработки результатов опыта в таких случаях мало отличается от изложенной ранее применительно к откачкам. Например, при опытном наливе (нагнетании) воды в напорный водоносный горизонт в условиях стационарной или квазистационарной фильтрации его водопроводимость может быть определена либо на основе сопоставления повышений уровня в двух точках на один момент времени по формуле (IV.18), либо по данным о повышении уровня в одной точке (опытная или наблюдательная скважина) на два момента времени t_1 и t_2 по формуле (IV.17) и т. д. Однако в условиях нагнетания более часто, чем при откачках, возникает необходимость учета потерь напора в трубах, а также некоторых других факторов, искажающих результаты опыта (температура и качество нагнетаемой воды, возможность проявления нелинейности, явления коагуляции, гидроразрыва и др.).

Опытные нагнетания в скальные и полускальные породы позволяют оценить не только водопроницаемость, но и их относительную трещиноватость, условной характеристикой которых является удельное водопоглощение q' , под которым понимают количество воды в литрах, поглощенной породой в минуту на 1 м длины опробуемого интервала скважины при напоре, равном 1 м. Удельное водопоглощение характеризует водопроницаемость и относительную трещиноватость пород данного интервала в среднем, так как может быть результатом наличия как многочисленных тонких трещин, пор и каверн, так и одной крупной трещины или полости.

Опытные нагнетания осуществляют обычно поинтервально (стандартный интервал 5 м) при нескольких ступенях напора. По построенным в результате опыта графикам зависимости расхода и напора от времени определяют величины установившегося напора и расхода для каждой ступени напора и вычисляют величины при-

веденных расходов q_0 (л/мин на 1 пог. м) путем деления установившегося расхода (л/мин) на длину интервала (м). Графики приведенных расходов $q_0=f(H)$ служат для контроля правильности проведения опыта и являются основой для определения удельного водопоглощения. Аналогично кривым дебита при откачках, эти графики могут иметь прямолинейный и криволинейный (параболический, степенной) характер.

Установленное в результате опытов удельное водопоглощение q' используется для сопоставительной характеристики водопроницаемости опробованных отложений, выделения наиболее и наименее проницаемых зон и ориентировочной оценки фильтрационных свойств. В последнем случае используется следующая формула:

$$K=0,525q' \lg \left(\frac{\alpha l}{r_c} \right), \quad (IV.30)$$

где α — коэффициент, принимаемый равным 0,66, если опробуемый интервал длиной l отстоит от ближайшего водоупора на расстоянии не меньшем, чем интервал опробования, и 1,32 при примыкании опробуемого интервала к одному из водоупоров.

Сочетая опытные нагнетания и наливы в водоносных отложениях с откачками, можно использовать результаты массовых нагнетаний для уточнения водопроницаемости пород в плане и в разрезе, более обоснованно интерполируя и экстраполируя значения параметров, установленные при откачках, на участки, опробованные более быстрым и дешевым способом (с помощью наливов и нагнетаний).

Наливы и нагнетания в необводненные породы. Опытные нагнетания и наливы воды в скважины — пока практически единственный метод, позволяющий расчленив по водопроницаемости неводоносные породы, залегающие на глубинах, где исключается проведение опытных наливов в шурфы. Однако часто эти опыты не дают возможности с необходимой точностью определить коэффициент фильтрации опробованных пород, так как при нагнетании воды в необводненные трещиноватые породы фильтрация носит резко выраженный избирательный характер вследствие действия гравитационных сил. Поэтому коэффициенты фильтрации и удельные водопоглощения, определенные нагнетаниями в водоносных трещиноватых породах, по сути дела мало сопоставимы с этими же показателями водопроницаемости неводоносных пород. При опытных нагнетаниях воды в необводненные породы возникают дополнительные трудности как в технике проведения опытов, так и в обработке полученных материалов. Очистка трещин, пор, каверн и прочих полостей породы от бурового шлама в необводненных интервалах скважин значительно сложнее и менее надежна, чем в обводненных, так как применяемая для этого обратная промывка очистки. Чтобы уменьшить кольматацию полостей породы, желательно скважины, опробуемые опытными нагнетаниями, особенно

в интервалах, расположенных выше уровня подземных вод, бурить с обратной промывкой.

Нагнетание в необводненные породы требует значительно большего времени для того, чтобы получить установившийся расход при данном напоре, чем нагнетание в водоносные породы. Поэтому методы, основанные на использовании зависимостей неустановившегося режима фильтрации, являются в данных условиях перспективными. Определение действующего напора при нагнетании в необводненные породы условно: величина напора H находится в пределах $H_1 < H < H_2$, где H_1 — превышение уровня воды в скважине во время опыта над верхней границей опробуемого интервала, а H_2 — то же, над уровнем подземных вод или подстилающего водоупора. В практике гидрогеологических исследований при вычислении удельного водопоглощения условно принято отсчитывать напор от середины опробуемого интервала.

Опытные нагнетания и наливы могут проводиться при установившемся и неустановившемся режимах фильтрации. Вблизи опытной скважины при нагнетаниях возникает напорная или напорно-безнапорная фильтрация, а при наливах — только безнапорная.

Методика послойного определения фильтрационных свойств необводненных горных пород по результатам нагнетаний в скважины в условиях неустановившейся фильтрации (нагнетание с постоянным расходом или напором) разработана Н. Н. Веригиным. Для осуществления опытов по этой методике в скважинах необходимо обеспечить напоры, в 10—12 раз превышающие длину испытываемого интервала (что позволяет не учитывать влияние гравитационных сил, но вместе с тем требует тщательной обсадки ствола скважины и ликвидации затрубных пространств).

Нагнетания в скважину. При нагнетании воды в сухие породы через скважину с постоянным расходом происходит изменение уровней образующегося местного потока. Наблюдения за положением уровня являются исходными данными для расчетов параметров. По Н. Н. Веригину, по данным о положении пьезометрического уровня воды в центральной и наблюдательных скважинах можно определить коэффициенты фильтрации K и активной пористости μ следующим методом.

При наличии двух замеров уровня воды h_1 и h_2 над кровлей водоносного горизонта в центральной скважине, соответствующих моментам времени t_1 и t_2 (время отсчитывается от начала опыта в сутках), используются следующие расчетные формулы: для определения коэффициента фильтрации

$$K = \frac{0,183Q}{m(h_2 - h_1)} \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right), \quad (\text{IV.31})$$

для определения активной пористости

$$\lg \mu = \lg \frac{Qt_1}{\pi m r_c^2} - d \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right), \text{ где } d = \frac{h_1 + 0,5m}{h_2 - h_1}. \quad (\text{IV.32})$$

При наличии наблюдательной скважины, в которой фиксируется время появления воды от начала опыта t_n , расчеты параметров ведутся соответственно по формулам:

$$K = \frac{0,366Q}{(h_n + 0,5m)m} \lg \left(\frac{r}{r_c} \right) \text{ и } \mu = \frac{Qt_n}{\pi m (r^2 - r_c^2)}, \quad (\text{IV.33})$$

где h_n — столб воды в центральной скважине в момент появления воды в наблюдательной скважине, расположенной на расстоянии r от центральной.

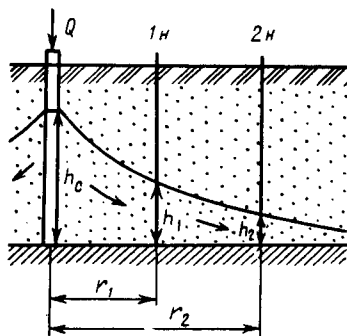


Рис. 24. Схема опытного налива воды в скважину

Наливы в скважину. При наливах в совершенную скважину, заложенную в неводоносные песчаные отложения, для определения параметров используются данные о развитии образующейся от налива воронки в условиях квазистационарного режима. Помимо центральной опытной скважины должен включать несколько наблюдательных скважин, располагаемых по лучам на расстояниях от 3 до 10—15 м и используемых для прослеживания образующейся воронки (рис. 24).

Постоянный в процессе опыта расход налива устанавливается ориентировочно по формуле $Q = 0,6Kh_c^2$, где h_c — высота столба воды в скважине, задаваемая в зависимости от мощности опробуемых отложений [16].

Наиболее достоверно коэффициент фильтрации определяется на основе сопоставления одновременно замеренных повышений уровня по двум пьезометрам, расположенным на расстояниях r_1 и r_2 от опытной скважины:

$$K = \frac{0,732Q}{h_1^2 - h_2^2} \lg \frac{r_2}{r_1}. \quad (\text{IV.34})$$

Формула (IV.34) справедлива в зоне $r \leq 0,3 r_t$, где r_t — радиус растекания, определяемый выражением $r_t = 1,1 \sqrt[4]{\frac{KQt}{\mu^2}}$. При на-

личии нескольких наблюдательных скважин справедливость формулы (IV.34) устанавливается построением графика $h^2 = f(\lg r)$, который должен быть прямолинейным.

При одиночном наливе или наличии только одной наблюдательной скважины коэффициент фильтрации определяется на основе сопоставления двух значений повышения уровня h_1 и h_2 , определяемых в одной и той же точке на время t_1 и t_2 от начала опыта по формуле

$$K = \frac{0,366Q}{h_1^2 - h_2^2} \lg \frac{t_2}{t_1}. \quad (\text{IV.35})$$

Выбор моментов времени t_1 и t_2 для расчета по формуле (IV.35) осуществляется на основе предварительно составляемого графика $h^2=f(\lg t)$, который должен быть прямолинейным (берутся две любые точки с этого графика с их координатами t_1, h_1, t_2, h_2). Для повышения достоверности определения K этим методом опыты необходимо повторять до совпадения результатов. Если подстилающий песчаные породы пласт является полупроницаемым (суглинистым или глинистым), то его водопроницаемость может быть также определена графоаналитическим методом по данным о снижении уровня после налива по наблюдательным скважинам [5, 16]. Изложенная методика справедлива также и для опытных наливов в котлованы круглой формы.

Опытные нагнетания воздуха. В последнее время при изучении фильтрационных свойств необводненных пород практикуются нагнетания в изолированный интервал скважины не воды, а воздуха.

Сущность опытов сводится к обеспечению подачи определенного количества воздуха через бурильные трубы в испытуемый интервал и осуществлению наблюдений за распространением нагнетаемого воздуха в пласте через систему наблюдательных скважин. В процессе опыта фиксируются расход воздуха и его физические параметры по центральной скважине, а также давление воздуха и его температура по всем точкам наблюдения. Опыт проводится на несколько (обычно на три) ступеней расхода с поддержанием его постоянства на каждой из ступеней. Для осуществления опыта применяется специальное оборудование, обеспечивающее изоляцию испытуемого интервала (тампонирующее устройство), подачу воздуха в пусковую скважину и управление режимом опыта (блок-пульт или распределительное устройство), систему замеров основных параметров в процессе опыта (блок регистрации и разжатия тампонов). Продолжительность опыта на каждой ступени составляет в среднем 2—4 ч при относительной стабилизации расхода воздуха в интервале пусковой скважины в течение 1—1,5 ч. Испытания ведутся по схеме «снизу — вверх» или «сверху — вниз». Специальный комплект оборудования для опытных нагнетаний воздуха ОНВ-1 разработан институтом Гидропроект.

На основе обработки результатов опытных нагнетаний воздуха и учета перехода от характеристик воздуха к воде определяются такие параметры, как коэффициенты фильтрации и пьезопроводности, величина активной пористости (пустотности) пород, фильтрационная анизотропия. Метод применяется при исследованиях для гидротехнического строительства, однако он требует дальнейшей разработки и более широкой практической проверки.

Опытные наливы в шурфы. Наиболее распространенным и разработанным методом изучения фильтрационных свойств связных и рыхлых пород зоны аэрации являются опытные наливы в шурфы, которые обеспечивают фильтрационное опробование пород на глубину до 5 м (при ярусном проведении опытов на глубину до 10—15 м).

Сущность опытов заключается в наблюдениях за ходом инфильтрации воды из шурфов и снятии характеристик инфильтрационного потока в условиях постоянного уровня воды в шурфе в процессе опыта. Метод инфильтрации воды из шурфов, предложенный впервые А. К. Болдыревым, применяется сейчас в различных модификациях (по Н. С. Нестерову, Н. К. Гириному, Н. Н. Биндеману и др.). В процессе опыта смыкание инфильтрующей воды с грунтовым потоком должно быть исключено и, следовательно, опыты по наливам воды в шурфы осуществляются при глубине залегания уровня подземных вод не менее 4—5 м. В таких условиях основными действующими силами при инфильтрации воды из шурфа являются гидростатический напор слоя воды и капиллярное давление, совпадающее по направлению с инфильтрацией и проявляющееся в капиллярном всасывании воды. Особенно существенно влияние капиллярного всасывания на инфильтрацию воды в суглинистых и глинистых породах и несущественно в хорошо проницаемых породах (песках и супесях). Проведение опыта может осложняться боковым растеканием инфильтрационного потока, влиянием заземленного в породах воздуха, неоднородностью строения зоны аэрации.

Влияние бокового растекания может учитываться, не учитываться или частично исключаться в процессе опыта. Влияние заземленного воздуха может быть оценено по формуле С. Ф. Аверьянова, устанавливающей связь между коэффициентом водопроницаемости пород K_w при влажности их W и коэффициентом фильтрации пород K в условиях их полного насыщения:

$$K_w = K \left(\frac{W - W_0}{n - W_0} \right)^{3,5}, \quad (\text{IV.36})$$

где W_0 — максимальная молекулярная влагоемкость и n — пористость пород в долях единицы.

В наиболее простых условиях скорость вертикального просачивания воды при наливах через зону аэрации выражается следующим уравнением:

$$v = K \frac{Z + h_k + l}{l} = K \left(1 + \frac{Z + h_k}{l} \right), \quad (\text{IV.37})$$

где h_k — капиллярное давление, развивающееся при инфильтрации; Z — толщина слоя воды в шурфе; l — глубина просачивания воды; $(Z + h_k + l)/l$ — действующий напорный градиент (рис. 25).

В основном все практикуемые методы определения водопроницаемости по данным инфильтрации воды из шурфа, кроме метода Н. Н. Биндемана, основаны на расчетах по формулам установившейся фильтрации.

Способ А. К. Болдырева. В испытуемой породе до заданной глубины отрывается шурф, у бровки которого устанавливаются два бака, поочередно наполняемые водой в ходе опыта. Из

баков по опущенной вниз трубке подается на дно шурфа вода с интенсивностью, обеспечивающей постоянный слой воды высотой около 10 см. Толщина слоя воды в шурфе контролируется по мерной рейке (рис. 25). Опыт ведется до стабилизации расхода воды из шурфа.

Расход воды Q через площадь поперечного сечения фильтрующей породы ω определяется формулой $Q = v\omega = KI\omega$, откуда, принимая, что в процессе длительной инфильтрации напорный градиент будет близким к единице, можно определить коэффициент фильтрации при известном расходе потока Q как скорость фильтрации при напорном градиенте равном единице:

$$K = v = Q/\omega. \quad (IV.38)$$

При определении коэффициента фильтрации по формуле (IV.38) действительно можно принимать напорный градиент близким к единице, так как величина l намного больше ($Z + h_k$) и, следовательно, $l = (l + Z + h_k)/l \approx 1$. Однако при этом не учитывается действие капиллярных сил, а также боковое растекание потока, поэтому способом Болдырева допустимо пользоваться для приближенного определения коэффициента фильтрации в песчаных и трещиноватых породах, где влияние капиллярных сил и бокового растекания невелико.

Способ Н. С. Нестерова. Для того чтобы уменьшить влияние бокового растекания, Н. С. Нестеров предложил на спланированное дно шурфа устанавливать concentрично два стальных цилиндра разного диаметра, вдавливая их на глубину 5—10 см (рис. 26). В оба цилиндра наливается вода (высота слоя $Z = 10$ см) и в процессе всего опыта поддерживается на одном и том же уровне с помощью двух сосудов Мариотта, наполненных водой. Опыт ведется до стабилизации расхода воды через внутреннее кольцо прибора во времени.

Допускается, что вода из кольцевого промежутка, образованного внешним и внутренним цилиндрическими кольцами, расходуеться на просачивание, боковое растекание и капиллярное всасывание. Вода, заполняющая внутренний цилиндр, расходуеться главным образом на инфильтрацию в вертикальном направлении, что позволяет приближенно принимать поперечное сечение инфильтрационного потока равным поперечному сечению внутреннего цилиндра.

Для определения глубины просачивания бурятся две скважины небольшого диаметра: одна — на расстоянии 3—4 см от стенки шурфа до опыта и другая — в центре внутреннего кольца по окон-

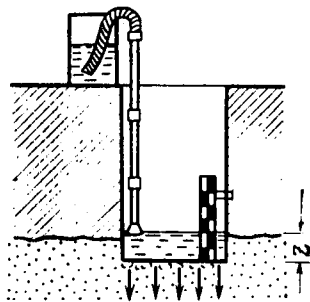


Рис. 25. Схема опытной инфильтрации воды из шурфа по способу А. К. Болдырева

чании опыта. Глубина просачивания устанавливается по величине влажности породы. Вычисление коэффициента фильтрации ведется по формуле

$$K = \frac{Ql}{\omega(h_k + Z + l)}, \quad (\text{IV.39})$$

где Q — установившийся фильтрационный расход через внутреннее кольцо прибора; h_k — капиллярное давление, принимаемое равным 50% от максимальной высоты капиллярного поднятия (для суглинков это 0,8—1 м, для супесей — 0,4—0,6, для песков — от 0,3 до 0,5 м в зависимости от их зернистости).

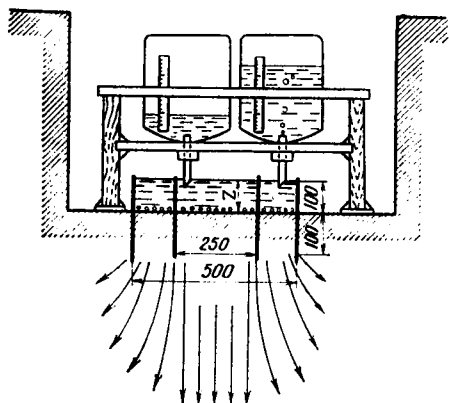


Рис. 26. Схема установки для опытов по инфильтрации из шурфа по способу Н. С. Нестерова (цифрами даны размеры установки в мм)

Способ Нестерова дает лучшие результаты в слабопроницаемых породах, особенно в покровных суглинках и лёссах. К недостаткам способа относятся приближенный учет капиллярного растекания и длительность проведения опытов.

Способ Н. К. Гиринского основан на гидромеханическом решении для стационарного осесимметричного потока, учитывает растекание инфильтрационного потока, силы капиллярного всасывания и влияние защемленного воздуха, остающегося в порах пород, насыщаемых при инфильтрации.

В шурф, пройденный на необходимую глубину, через полый цилиндр, вдавливаемый в его дно на 1—2 см, наливают воду. Диаметр цилиндра принимается от 35 до 50 см, что упрощает последующие расчеты. Подача воды в цилиндр и поддержание в нем постоянного уровня осуществляется с помощью предложенного Е. В. Симоновым автоматического регулятора.

В процессе опыта ведется учет расхода воды на инфильтрацию [для контроля опыта строится график $Q=f(t)$]. По достижении стабилизации расхода (отклонение от среднего расхода не более 10% в течение 2—3 ч) опыт прекращается. Длительность опыта в мелкозернистых песках и супесях 5—10 ч, в глинистых породах больше.

Значение коэффициента фильтрации K (м/сут) определяется в зависимости от величины установившегося расхода воды Q (л/мин) и условий проведения опыта по формуле

$$K = a\zeta Q, \quad (\text{IV.40})$$

где a — коэффициент, зависящий от глубины вдавливания кольца

в породы l_0 и диаметра кольца d (при l_0/d до 0,03 значение $a = 1,06$; при $l_0/d = 0,04$ $a = 1,08$ и при $l_0/d = 0,05$ $a = 1,1$); ξ — коэффициент, величина которого зависит от значения $(h_k + Z)$ и диаметра кольца (здесь Z — слой воды в кольце, см) и принимается по справочникам [13].

Метод Н. К. Гиринского целесообразно применять для определения коэффициента фильтрации песчаных и суглинистых пород.

Все рассмотренные способы определения водопроницаемости основаны на расчетах по формулам установившейся фильтрации. Однако результаты опытов по инфильтрации из шурфов могут обрабатываться и по формулам неуставившейся фильтрации, что позволяет существенно сократить их продолжительность.

Способ Н. Н. Биндемана. Н. Н. Биндеман предложил обрабатывать опыты, выполняемые по способу Нестерова, на основе наблюдений за ходом инфильтрации воды во времени, ведя расчеты по следующей формуле:

$$K = \beta V / \omega t, \quad (IV.41)$$

где V — объем воды, израсходованной за время t от начала опыта; β — коэффициент, величина которого зависит от l/Z и определяется выражением $\beta = 1 - [(Z + h_k)/l] \ln [1 + l/(Z + h_k)]$.

Способ Н. Н. Биндемана удобен, прост и не требует длительно-го проведения опыта (стабилизация расхода воды во времени не обязательна); он дает возможность неоднократно определять параметры по результатам одного опыта (определение осуществляется для разных значений t и t_1), показывает достаточно точные результаты и особенно эффективен при проведении опытов в слабопроницаемых породах. Наряду с водопроницаемостью можно определять величину капиллярного давления h_k (по вспомогательным графикам) и недостаток насыщения μ (по отношению объема воды V , поступившей в породы из внутреннего кольца, к объему увлажненных ею пород ωl , т. е. $\mu = V/\omega l$).

Возможен также и графоаналитический способ обработки опытных данных, основанный на непосредственном использовании уравнения (IV.37) для скорости вертикального просачивания. Для этого глубина просачивания l выражается через объем инфильтрующейся воды V ($l = V/\mu\omega$, т. к. $V = \mu\omega l$) и уравнение (IV.37) приводится к виду

$$v = K + \frac{K\mu\omega(Z + h_k)}{V}. \quad (IV.42)$$

Как видно из уравнения (IV.42), скорость инфильтрации v линейно связана с величиной $1/V$ (здесь V — объем просочившейся воды), поэтому если опытные данные по инфильтрации воды из шурфа наносить на график зависимости v от $1/V$, то точки должны ложиться на прямую линию, отсекающую на оси v расчетную величину коэффициента фильтрации K и имеющую угловой коэффи-

ент $C = K_{\mu\omega}(Z + h_k)$. По значению углового коэффициента легко определить величину капиллярного давления h_k (в данном случае $h_k = C/K_{\mu\omega} - Z$).

Линейный характер, как это видно из уравнения (IV.42), имеет и зависимость $vV = K_{\mu\omega}(Z + h_k) + KV$. Поэтому представление опытных данных в координатах $vV - V$ также должно давать прямую линию, отсекающую на оси vV отрезок $A = K_{\mu\omega}(Z + h_k)$ и имеющую угловой коэффициент, численно равный коэффициенту фильтрации K . По характеру графиков $vV = f(V)$ можно судить таким образом о характере изменения проницаемости пород с глубиной.

Рассмотренные графоаналитические методы обработки опытных данных дают возможность не только определять параметры K и h_k , но и контролировать качество опытов по отклонению опытных точек от прямолинейных графиков $v = f(1/V)$ и $vV = f(V)$. Они достаточно достоверны и удобны для практического использования [5, 8]. Минимальная продолжительность опытов определяется временем поглощения объема воды $V_{\min}$, достаточного для обеспечения практической стабилизации влагосодержания на глубине не менее $1,5d$ (здесь d — диаметр инфильтromетра). Ориентировочно этот объем определяется выражением $V_{\min} = (Z + h_k)d^2$.

Все изложенные методы предполагают однородность строения зоны, через которую осуществляется инфильтрация воды из шурфа. Наличие в этой зоне слоев более высокой или более низкой проницаемости может предопределить недостоверность результатов опыта. Поэтому при постановке опытов по инфильтрации необходимо иметь четкое представление о литологическом строении зоны аэрации, положении в разрезе относительных водоупоров или хорошо дренирующих слоев и глубине залегания подземных вод. Это позволит обоснованно выбрать схему проведения опыта, его продолжительность, методику обработки результатов опыта и их правильную интерпретацию.

Изучение фильтрационных свойств кусочнооднородных в разрезе толщ возможно путем поинтервального опробования различных в литологическом отношении слоев с помощью экспресс-наливов ограниченной продолжительности (исходя из объема воды на инфильтрацию $V_{\min}$). В процессе таких мгновенных наливов ведутся наблюдения за снижением уровня воды в кольце во времени (фиксируется прохождение уровня через определенные отметки маркированной рейки). Результаты наблюдений представляются в виде графика $vs = f(s)$, который должен быть прямолинейным в соответствии с исходной зависимостью $vs = K_{\mu}(z + h_k) + (1 - \mu) \cdot Ks$, где v и s — соответственно скорость снижения и величина понижения уровня воды в кольце прибора [5, 11]. Угловой коэффициент такого прямолинейного графика численно равен $C = (1 - \mu) \cdot K$. Поэтому, принимая в среднем для покровных отложений $\mu = 0,1$, можно с погрешностью не более 10% определять коэффициент фильтрации из выражения $K = C/0,9$, где C — угловой коэффициент графика $vs = f(s)$.

Изучение инфильтрационных свойств анизотропных отложений возможно при сочетании опытных наливов в шурфы с лабораторными методами определения коэффициента фильтрации [14]. На основе лабораторных определений коэффициента фильтрации опробуемых пород в горизонтальном K_r и вертикальном K_v направлениях устанавливается степень их анизотропии $\lambda^2 = K_v/K_r$, а при известных значениях λ и достоверной величине коэффициента инфильтрации пород в вертикальном направлении K_v , определенной с помощью наливов воды в шурфы, можно определять достоверное значение коэффициента фильтрации в горизонтальном направлении $K_r = K_v/\lambda^2$ или среднее значение коэффициента фильтрации анизотропных пород — $K_{cp} = \sqrt{K_r \cdot K_v} = K_v/\lambda$.

Используя корреляционные связи между результатами определения фильтрационных свойств одних и тех же пород лабораторным путем и полевыми опытно-фильтрационными работами, можно уменьшить объемы более дорогостоящих полевых исследований за счет обоснованной интерполяции и экстраполяции лабораторных определений либо определений, осуществляемых другими вспомогательными методами (экспресс-опробованием, геофизическим и др.).

§ 5. Экспресс-опробование водоносных горизонтов

Экспресс-опробование водоносных горизонтов, основанное на изучении реакции опробуемых объектов на кратковременное их возмущение, получает все более широкое применение для предварительной оценки фильтрационных свойств и расчленения изучаемого разреза отложений по водопроницаемости как в процессе бурения гидрогеологических скважин (опережающее опробование с помощью специальных установок и комплектов испытательных инструментов), так и после их сооружения (экспресс-откачки, экспресс-наливы, опробование пластов с помощью специальных снарядов и пластоиспытателей, расходомерия, термометрия и др.).

Опережающее опробование водоносных горизонтов используется при вращательном бурении скважин в рыхлых породах с применением глинистого раствора. Оно позволяет получить качественную и количественную характеристику опробуемых в процессе бурения горизонтов с точностью, достаточной для предварительных исследований [11]. По результатам откачек при опережающем опробовании, выполняемых до стабилизации понижения S_0 при известном значении дебита Q , определяется коэффициент фильтрации K . Для расчета используется формула Н. Н. Веригина, учитывающая несовершенство опытной скважины по степени и характеру вскрытия пласта:

$$K = \frac{0,366Q \left(\lg \frac{1,47l}{r_0} + \zeta_p \right)}{lS_p}, \quad (IV.43)$$

где l — длина фильтра-опробователя (обычно 1—2 м); r_0 — его радиус; ε — коэффициент, равный 2 при расположении фильтра у кровли или подошвы пласта и 1 при положении фильтра внутри пласта; S_p — расчетное понижение уровня с учетом потерь напора ΔS — в бурильных трубах ($S_p = S_0 - \Delta S$); ζ_f — показатель сопротивления стандартного фильтра-опробователя (изменяется от 1,5 до 6,5 при коэффициентах фильтрации пород соответственно от 5 до 100 м/сут). Схему опережающего опробования горизонта см. на рис. 6.

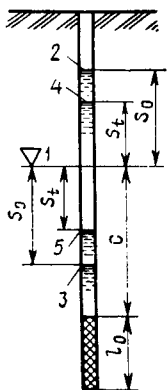


Рис. 27. Схема экспресс-опробования неперфорированной скважины:

1 — статический уровень, 2, 3 — положение уровня на начало отсчета после налива и после откачки; 4, 5 — положение уровня в расчетный момент времени t в процессе опыта

При бурении глубоких скважин в устойчивых породах пласты и горизонты целесообразно опробовать с помощью специальных опробователей и пластоиспытателей, опускаемых в скважины на бурильных трубах или кабеле (см. гл. III, § 2, рис. 6, 13, 14).

Экспресс-откачки и экспресс-наливы. Эти экспресс-методы определения параметров, основанные на использовании наблюдений за изменением уровня воды в скважине в результате кратковременного отбора или налива воды, применяются при изучении фильтрационных свойств пород с относительно невысокой водопроницаемостью ($0,01 < K < 5$ м/сут). В более проницаемых породах восстановление уровней в результате экспресс-возмущения происходит очень быстро, и это ограничивает возможности применения рассматриваемых методов.

Мгновенное снижение уровня воды в опытной скважине (экспресс-откачка) осуществляется быстрым ее отбором (желонкой, включением насоса, открытием задвижки), мгновенный подъем (экспресс-налив) — единовременным наливом воды или погружением под уровень воды какого-либо емкого тела.

Общий недостаток экспресс-определений — зависимость искомых параметров от сохранности и состояния призабойной зоны опытных скважин и их малый диапазон действия (при незначительной степени возмущения параметры характеризуют небольшую зону пород вокруг скважины). Достоверность определения параметров может быть повышена за счет массовости экспресс-определений и учета состояния призабойной зоны.

Экспресс-налив (откачка) в неперфорированную скважину (рис. 27). В условиях квазиустановившейся фильтрации и при отсутствии влияния границ потока для анализа результатов экспресс-наливов (откачек) в неперфорированные скважины рекомендуется использовать зависимость вида

$$\ln \frac{S_0}{S_t} = \frac{K l_p}{\omega} t, \quad (\text{IV.44})$$

где S_0 и S_t — положение уровня по отношению к статическому на начало опыта и через время t ; l_p — расчетная длина рабочей части скважины, определяемая в зависимости от ее диаметра и размеров фильтра. Для несовершенной скважины с длиной фильтра l_0 и радиусом r_c $l_p = 2,73 l_0 / \lg(0,7 l_0 / r_c)$, а для скважины, работающей только дном, $l_p = 10 r_c$.

Из уравнения (IV.44) следует, что график зависимости $\ln(S_0/S_t) = f(t)$ представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом $C = Kl_p/\omega$, чем и можно воспользоваться при определении коэффициента фильтрации. Сняв с прямолинейной части графика $\lg(S_0/S_t) = f(t)$ величину углового коэффициента C или координаты любой ее точки $\lg(S_0/S_t)$ и t , коэффициент фильтрации определим по формуле

$$K = 2,3 \left(\frac{C\omega}{l_p} \right) \text{ или } K = 2,3 \left(\frac{\omega}{l_0 t} \right) \lg \left(\frac{S_0}{S_t} \right). \quad (\text{IV.45})$$

Аналогичным образом можно обрабатывать и результаты экспресс-откачек. При этом вместо повышений уровня рассматриваются его понижения по отношению к исходному статическому уровню перед опытом.

Для исключения влияния на работу опытных скважин границ пласта в разрезе необходимо заглублять их фильтр под уровень воды не менее чем на полторы его длины, т. е. $C \geq 1,5 l_0$ (рис. 27).

Экспресс-налив (откачка) в совершенную скважину. Обработка результатов таких опытов возможна на основе приближенной зависимости, определяющей изменение уровня на конечных стадиях опытов [11]:

$$S_t = \frac{V}{4\pi T t}, \quad (\text{IV.46})$$

где S_t — повышение или понижение уровня через время t после опыта; $V = \omega \cdot S_0$ — объем воды, прилитой (или отобранной) в процессе возмущения (ω — сечение скважины, S_0 — повышение или понижение уровня воды при экспресс-опробовании).

Обработка опыта может проводиться графоаналитическим способом — построением графика $S_t = f(1/t)$, который, как это видно из уравнения (IV.46), представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом $C = V/4\pi T$. Следовательно, по величине C может быть определена водопроницаемость $T = V/4\pi C$. В принципе по любой точке прямолинейной части графика $S_t = f(1/t)$ водопроницаемость может быть определена по формуле

$$T = \frac{V}{4\pi S_t t} = 0,08 \frac{V}{S_t t} \quad (\text{IV.47})$$

Расходомерия скважин. Суть метода заключается в определении и анализе профиля расхода потока по стволу скважины при наливе, откачке или в естественных условиях, его применение эф-

фективно и целесообразно в незаглинизированных скважинах. Интерпретация расходограмм осуществляется с учетом того, что осевой поток воды в скважине изменяется лишь в интервалах проницаемых (водоносных) пород, а в пределах водоупоров он остается постоянным (рис. 28). Анализ графиков расхода воды по стволу скважины $Q' = f(h)$ позволяет определять глубину залегания, мощ-

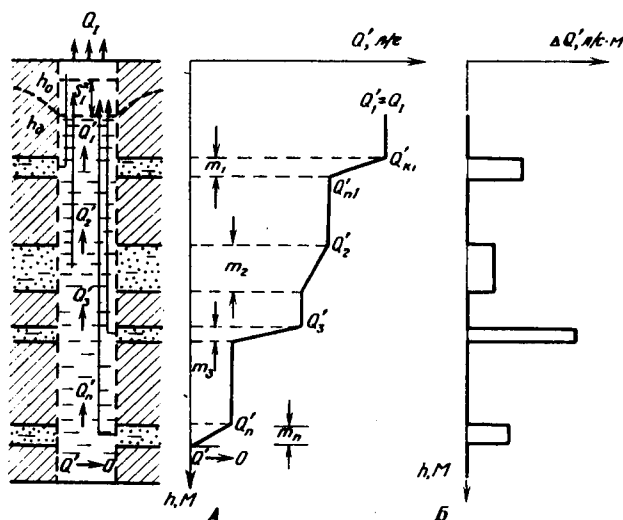


Рис. 28. Схема расходометрического исследования скважины при откачке:

А — расходограмма $Q' = f(h)$; Б — дифференциальная расходограмма $\Delta Q' = f(h)$; h_0 — установившийся общий уровень воды в скважине; h_d — динамический уровень воды в скважине при откачке

ность и гидродинамические параметры (водопроницаемость, напоры и др.) проницаемых пород. Границы пластов различной водопроницаемости устанавливаются по точкам перелома расходометрического графика (рис. 28, А). Расход воды в интервале проницаемого пласта находится по разности расходов потока в его кровле и подошве ($Q_i = Q'_{i,к} - Q'_{i,п}$). Характер неоднородности пластов выявляется на основе анализа графиков изменения расхода потока по их мощности; водопроницаемость и напоры каждого из пластов определяются на основе гидродинамических расчетов, учитывающих «участие» каждого из пластов в формировании общего расхода потока, его пьезометрического уровня, суммарной водопроводимости.

Методика расходометрии гидрогеологических скважин зависит от задач выполняемых исследований, геолого-технических условий объектов и вида применяемой аппаратуры. Детальное ее освещение применительно к решению гидрогеологических задач (расчленение

разреза по водопроницаемости, определение фильтрационных свойств и напоров пластов, выявление зон перетока и водопоглощения, оценка работы фильтров и др.) дано в работах [2, 4].

Расходомерия осуществляется в фонтанирующих скважинах, при откачках, наливах и нагнетаниях в условиях установившейся и реже неустановившейся фильтрации, подземных вод. Для этой цели скважина должна быть соответствующим образом оборудована и подготовлена (посадка фильтра, очистка от шлама, разглинизация, шаблонирование, прокачка, установка оборудования). На рис. 29 для примера показана схема установки расходомера в скважине при опробовании ее откачкой. При дискретных замерах расхода (практикуется наиболее часто) расходомер устанавливают в различных по глубине точках. Шаг установки прибора в зависимости от детальности и глубины исследований составляет 5—10 м при обзорных измерениях и 2—0,1 м при детальных измерениях. В результате обзорных измерений, выполняемых в открытом стволе скважины, выявляются зоны изменения расхода воды и интервалы для детальных измерений.

Детальные измерения проводят с целью уточнения границ и структуры водопритоков отдельных водопроницаемых пластов.

По результатам расходомерии снимается опытная кривая распределения скоростей движения жидкости по стволу скважины, на основе которой строятся дифференциальные кривые изменения входных скоростей или приращения расходов по стволу скважины. По характерным точкам перегиба дифференциальных кривых выделяют интервалы наиболее проницаемых пластов и определяется приходящий на эти интервалы расход. На основе сопоставления фактических и теоретических кривых распределения входных скоростей по мощности каждого из выделяемых пластов делается вывод об их однородности, а по соотношению расходов или скоростей по отдельным пластам и суммарной водопроницаемости (определяется любым другим методом) оцениваются параметры каждого из пластов.

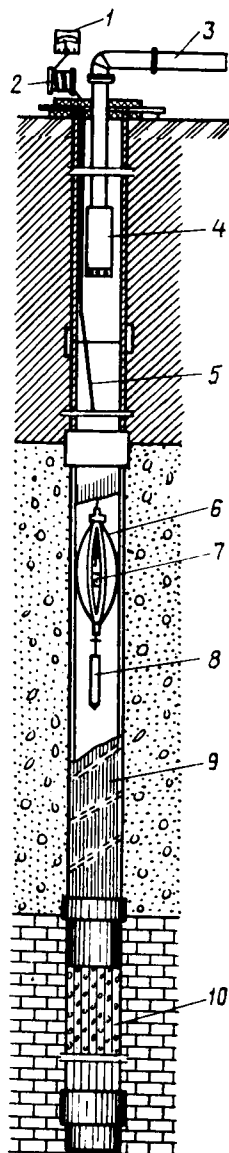


Рис. 29. Схема установки расходомера в скважине:

1 — пульт, 2 — лебедка, 3 — водоподъемные трубы, 4 — насос, 5 — кабель, 6 — центральный фонарь, 7 — вертушка, 8 — груз, 9, 10 — фильтры

Необходимо отметить, что применять описанные экспресс-методы следует в комплексе с основными видами опытно-фильтрационных работ и с геофизическими методами исследований. Так, эффективным оказывается сочетание опробования пластов специальными пластоиспытателями и опробователями с геофизическими методами исследований и расходомерией, которое позволяет получать достаточно достоверную информацию о водообильности и фильтрационных свойствах пород в процессе поисково-съемочных работ при существенном сокращении объемов дорогостоящих откачек.

§ 6. Определение направления и скорости движения подземных вод

Для решения многих задач, связанных с выявлением условий формирования и разрушения месторождений полезных ископаемых (в том числе и подземных вод), миграции в воде различных химических и биологических компонентов, с прогнозами изменения

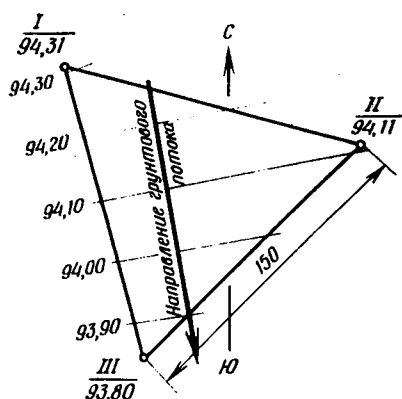


Рис. 30. Схема расположения скважин для определения направления движения грунтовых вод

качества подземных вод и подтягивания различных контуров и т. п., необходимо определять направление движения подземных вод, скорость их передвижения, активную пористость и некоторые другие миграционные параметры водоносных пластов и горизонтов. Эти показатели определяются гидрогеологическими и геофизическими методами. Обычно задачи выяснения направления и действительной скорости движения подземных вод решаются совместно, хотя нередко возникает необходимость лишь в определении направления движения подземного потока.

Направление движения подземных вод легко устанавливается при наличии карт гидроизогипс (либо гидроизопьез) по изучаемым водоносным горизонтам. По таким картам направление движения подземных вод определяется линиями токов, проведенными перпендикулярно к линиям равного напора (гидроизогипсам или гидроизопьезам) по уклону потока.

При отсутствии карт, отражающих положение свободной или пьезометрической поверхности подземных вод, для определения направления их движения необходимо иметь (или заложить) не менее трех выработок, чтобы установить отметки уровня подземных вод. Выработки желательно располагать по углам равностороннего треугольника с длиной стороны от 50 до 200 м (чем меньше уклон потока, тем больше расстояние между скважинами). По из-

вестным или установленным отметкам уровня подземных вод путем интерполяции составляется план изолиний свободной или пьезометрической поверхности и определяется направление движения потока по линиям токов (рис. 30).

Для получения надежных данных о направлениях движения потоков подземных вод следует использовать материалы режимных наблюдений (карты изолиний на различные периоды времени). Определение направления движения по картам гидроизогипс (гидроизопьез) следует считать основным методом. При отсутствии карт и достоверных данных об отметках уровней в отдельных точках направление движения подземных вод можно устанавливать с помощью геофизических (фотографирование в скважинах конусов распространения красителя от точечного источника, метод заряженного тела, замеры интенсивности конвективного переноса тепла в разных направлениях от датчика, круговые измерения естественного потенциала и др.), радиоиндикаторных и других методов.

Геофизические методы определения направления движения подземных вод детально изложены в специальных руководствах [13, 14]. Наиболее перспективны из них односкважинные методы, в том числе метод фотографирования конусов выноса от точечного источника красителя, при котором периодически фотографируются распространяющиеся от специальной капсулы конуса красителя на фоне стрелки магнитного или гироскопического указателя. Всего за один спуск можно выполнить до 50 снимков. Направление движения подземных вод определяется по направлению конуса выноса красителя. Для получения надежных результатов достаточно 4—5 снимков.

Точность определения направления подземного потока может быть оценена величиной относительной погрешности от 3 до 20%. В значительной мере погрешность зависит от скорости движения подземных вод. Метод может использоваться при скоростях фильтрации не ниже 0,5 м/сут. По времени существования конуса можно ориентировочно определить и скорость фильтрации v .

Этот метод значительно менее апробирован по сравнению с радиоиндикаторным, описанным ниже, но он несколько проще в исполнении и не требует согласования с органами Санэпиднадзора.

Односкважинные методы определения направления движения подземных вод не рекомендуется использовать в породах с редкой и неравномерной трещиноватостью.

Индикаторные методы определения направления и скорости движения подземных вод. Одним из важнейших показателей миграции подземных вод является действительная скорость их движения или фильтрации v_d , которая связана со скоростью фильтрации v соотношением $v_d = v/n_a$, где n_a — активная в фильтрационном отношении пористость породы, равная разности между полной пористостью n_0 и объемным содержанием связной воды n_c и защемленного воздуха n_3 (т. е. $n_a = n_0 - n_c - n_3$).

При решении задач тепломассопереноса следует учитывать, что действительная скорость фильтрации, определяющая конвективный перенос вещества и тепла с фильтрационным потоком, может изменяться за счет сорбции солей и растворов, выщелачивания, фильтрационной диффузии, теплового воздействия воды и пород, влияния микроорганизмов и других факторов [11, 15]. При этом вместо активной пористости учитывается эффективная пористость n_a , отражающая влияние указанных процессов (и тогда $v_d = v/n_a$).

При наличии карт гидроизогипс (гидроизопьез) и данных о коэффициенте фильтрации и пористости водоносных пород действительная скорость фильтрации v_d может быть определена по значению скорости фильтрации ($v = KI$) с учетом соотношения $v_d = v/n_a$.

Однако более надежным представляется определение действительной скорости движения подземных вод с помощью специальных полевых опытов, среди которых наибольшее практическое применение получили индикаторные методы, основанные на введении в испытываемый горизонт через пусковые скважины каких-либо индикаторов и определении скорости их передвижения в условиях подземного потока по времени появления индикаторов в наблюдательных скважинах.

В качестве наиболее часто практикуемых индикаторов используются красящие вещества (флюоресцеин, метиленовый синий, родамин — В, уранин, эритрозин и др.), электролиты (поваренная соль, хлорид аммония, соли лития и др.), и радиоактивные индикаторы (соединения, содержащие ^{131}I , ^{82}Br , ^3H , ^{60}Co , ^{51}Cr и др.).

Перед проведением опыта участок работ необходимо хорошо изучить в геолого-гидрогеологическом отношении. В пусковых и наблюдательных скважинах с помощью геофизических исследований, расходомерии, лабораторных работ и поинтервального опробования должны быть выделены, соответствующим образом изучены и при необходимости (при послойном опробовании) изолированы пласты, горизонты или интервалы, подлежащие исследованию.

Наблюдательные скважины для прослеживания передвижения индикатора закладываются ниже по потоку на расстоянии от 0,5 до 2 м в суглинистых и супесчаных породах, от 2 до 8 м в песчаных зернистых породах, от 5 до 15 м в гравийно-галечных и хорошо проницаемых трещиноватых породах и от 15 до 50 м и более в закарстованных породах. Количество наблюдательных скважин может изменяться от одной до трех при расстоянии между ними от 0,5 до 2 м. В принципе возможно определение направления и скорости движения подземных вод и без наблюдательных скважин (односкважинные методы), если для таких определений используются данные наблюдений за изменением концентрации индикатора во времени или за его распространением непосредственно в пусковой скважине (фотографирование конусов распространения красителей, термометрические и радиоиндикаторные замеры и т. д.).

Появление индикатора в наблюдательных скважинах устанавливается химическим, электролитическим и калориметрическим

способами, при этом первые два дают наиболее надежные результаты.

При химическом способе появление индикатора устанавливается по изменению его концентрации в периодически отбираемых из наблюдательных скважин пробах воды. Для более точного и обоснованного установления момента появления индикатора в наблюдательной скважине результаты определения изображаются в виде графика изменения концентрации индикатора во времени $C=f(t)$. Время прохождения индикатора от пусковой до наблюдательной скважины $t_{\text{макс}}$ исчисляется с момента его запуска в пусковую скважину до момента максимальной концентрации индикатора в наблюдательной скважине (рис. 31). Действительная скорость движения подземных вод v_d определяется как частное от деления пройденного индикатором расстояния l на время: $v_d = l/t_{\text{макс}}$ [2, 13].

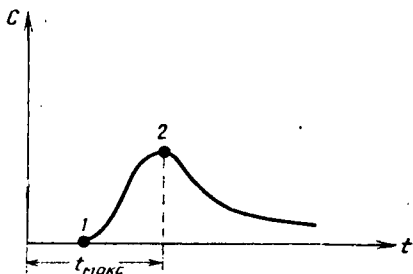


Рис. 31. Изменение концентрации индикатора C в наблюдательной скважине во времени t :

1 — точка появления индикатора в наблюдательной скважине, 2 — точка максимальной концентрации индикатора

Аналогичным образом определяется действительная скорость движения воды при электролитическом и калориметрическом способах обнаружения индикатора в наблюдательных скважинах. В первом случае время появления индикатора в наблюдательной скважине фиксируется по максимальной силе электрического тока в цепи, замкнутой через скважину (максимальная сила тока отвечает моменту прохождения индикатора-электролита через наблюдательную скважину). Во втором случае время прохождения индикатором-красителем наблюдательной скважины определяется по максимальной интенсивности окраски отбираемых проб воды (интенсивность окраски оценивается с помощью флюороскопа). При использовании любого метода для более надежного определения момента появления индикатора в наблюдательной скважине необходимо строить графики изменения наблюдаемого показателя (силы тока или концентрации красителя) во времени, аналогичные изображенному на рис. 31.

Радиоиндикаторные методы приобретают в последние годы все более широкое применение для определения направления и скорости движения подземных вод, а также для решения многих других практических задач. В качестве индикаторов для меченых воды используются различные радиоизотопы. Контроль за перемещением изотопов ведется по замерам интенсивности излучения и определения их концентрации [14].

Возможность использования радиоактивных индикаторов низких концентраций, их сравнительно незначительная сорбционная

способность и высокая точность определений предопределяют большие перспективы применения радиоиндикаторных методов для решения гидрогеологических задач и, в частности, для определения направления и скорости движения подземных вод. Наибольшее применение в качестве индикаторов находят соединения, содержащие ^{131}I , ^{82}Br , ^3H , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{86}Rb , ^{35}S , ^{24}Na и др. [14].

Радиоиндикаторные методы применяются в различных вариантах и модификациях (односкважинные и с наблюдательными скважинами, одноиндикаторные и двухиндикаторные и др.).

Суть односкважинного радиоиндикаторного метода заключается в проведении наблюдений за изменением во времени концентрации введенного в скважину радиоактивного индикатора. Изменения концентрации индикатора во времени и эпюры распределения его активности, получаемые с помощью зонда, опускаемого в скважину, являются основанием для определения расхода, скорости и направления движения потока подземных вод. Особенно эффективным является этот метод при импульсном введении радиоиндикатора.

Радиоиндикаторные методы с наблюдательными скважинами в методическом отношении аналогичны описанным выше: фиксируется появление индикатора в наблюдательной скважине, и время его передвижения от пусковой до контрольной точки используется для определения действительной скорости фильтрации.

ГЛАВА V

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА И БАЛАНСА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучению режима и баланса подземных вод отводится существенная роль и значение в общем комплексе гидрогеологических исследований, выполняемых при решении самых разнообразных народнохозяйственных задач.

Стационарные гидрогеологические наблюдения с целью изучения режима и баланса подземных вод позволяют дать количественную характеристику процессов формирования подземных вод, выявить основные закономерности пространственно-временного изменения их количества, качества и свойств и использовать эти закономерности для обоснования путей наиболее рационального освоения и охраны подземных вод, состава мероприятий по борьбе с их вредным воздействием и способов управления их режимом.

Роль и значение этих исследований будут увеличиваться в дальнейшем по мере роста гидрогеологической изученности территории, развития сети режимных наблюдений и совершенствования методов использования результатов стационарных наблюдений для выявления различного рода гидрогеологических прогнозов. Со временем изучение режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях будет главным, а нередко и единственным видом полевых гидрогеологических исследований.

Данные наблюдений за режимом и балансом подземных вод будут обеспечивать не только высокую достоверность и обоснованность выполняемых инженерных прогнозов, но и значительное повышение экономической эффективности гидрогеологических исследований и изысканий.

§ 1. Режим и баланс подземных вод, цели и задачи их изучения

Под режимом подземных вод понимают изменения в пространстве и во времени ресурсов, свойств и состава подземных вод (включая уровни, расходы, скорости, температуру, химический, газовый, и бактериологический составы), отражающие процесс их формирования. Цель наблюдений за режимом — установление объективных законов явлений, имеющих место при формировании подземных вод, их объяснение и использование для обоснования различного рода гидрогеологических прогнозов.

Режим подземных вод в зависимости от характера определяющих его явлений и факторов может быть *естественным* (формируется под действием комплекса естественных факторов — геологических, климатических, гидрологических, биолого-почвенных, космических и др.), *нарушенным* (обусловлен главным образом влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека) и *слабонарушенным*, формирующимся при совместном воздействии искусственных и естественных факторов, но при преимущественном влиянии последних.

На большей части территории СССР имеют место естественный и слабонарушенный режимы подземных вод. Нарушенный режим характерен для отдельных участков, где решающим фактором в создании режима подземных вод является инженерная деятельность человека (орошение, осушение, гидротехническое строительство, действие водозаборных и дренажных сооружений и т. п.). В этой связи исследования режима подземных вод могут быть подразделены на *региональные*, направленные на выявление общих региональных закономерностей формирования режима подземных вод (главным образом, под действием естественных режимообразующих факторов), и *локальные* (специализированные), направленные на изучение особенностей режима подземных вод, формирующегося под влиянием местных факторов (литологического состава пород, гидрологического режима рек и водоемов, глубины залегания подземных вод, дренированности территории и инженерной деятельности человека).

Изучение режима подземных вод позволяет определять: 1) необходимые для прогнозов естественного или нарушенного режимов связи и зависимости элементов режима от природных и искусственных факторов (или их совокупности); 2) отдельные элементы водного баланса, используемые при обосновании водохозяйственных мероприятий и воднобалансовых расчетах; 3) характер и степень

влияния инженерной деятельности человека на подземные воды и связанные с изменением их режима явления и процессы (для обоснования наиболее рациональных путей управления режимом подземных вод, их народнохозяйственного использования и охраны); 4) особенности расчетных схем и значения расчетных гидрогеологических параметров, необходимые для различных прогнозов и обоснований.

Под *балансом подземных вод* понимается соотношение между их поступлением (приходная часть) и расходом (расходная часть) в количественном выражении (в мм слоя воды) на той или иной площади за определенный период.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны. Они характеризуют один и тот же процесс — формирование подземных вод. Водный баланс, обусловленный влиянием естественных (осадки, испарение, транспирация, конденсация, подземный и поверхностный сток) и искусственных (орошение, потери воды из каналов и систем водоснабжения, подпор, дренаж, агромелиоративные мероприятия и др.) факторов, предопределяет генетические основы, направленность и характер режима подземных вод. Поэтому изучение элементов водного баланса и выявление основных ведущих его показателей создает основу для научного познания и управления режимом подземных вод. В свою очередь анализ режима подземных вод позволяет проводить количественное определение отдельных элементов водного баланса (инфильтрации, испарения, подземного стока) и дает возможность выполнять более обоснованно водно-балансовые расчеты.

Задачи изучения режима и баланса подземных вод многообразны. Так, изучение естественного режима подземных вод осуществляется в целях обеспечения решения следующих задач: 1) выявления условий формирования подземных вод (оценка питания, разгрузки и роли отдельных режимообразующих факторов и процессов, определение элементов водного баланса); 2) изучения закономерностей изменения во времени естественного питания подземных вод; 3) установления закономерностей формирования водного, солевого и теплового баланса подземных вод и использования их для прогнозов режима подземных вод; 4) регионального изучения естественного режима подземных вод как фона для анализа и прогноза нарушенного режима подземных вод на локальных участках; 5) уточнения природных условий и расчетных значений гидрогеологических параметров.

Прогнозы естественного режима используются при планировании и осуществлении различных видов строительства (гражданского, промышленного, транспортного, гидроэнергетического, мелиоративного и др.), водоснабжения, сельскохозяйственного производства и решения других народнохозяйственных задач.

Изучение слабонарушенного и нарушенного режимов подземных вод, их прогнозы и анализ проводятся при решении следующих практических задач: 1) разведке месторождений подземных вод, оценке их запасов, составлении прогнозов их режима при эксплуа-

тации и обосновании мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения и загрязнения; 2) разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа (прогнозы водопритоков, влияния водоотлива и устойчивости выработок, обоснование наиболее рациональных путей и методов эксплуатации месторождений и т. д.); 3) обосновании оросительных, обводнительных и осушительных мелиораций и методов управления режимом подземных вод в районах их проведения; 4) изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений и прогнозах возможных изменений гидрогеологических, гидрогеохимических, мерзлотных, мелиоративных, инженерно-геологических и других условий в связи с водоснабжением, орошением, осушением, гидротехническим, промышленным и гражданским строительством и другими видами инженерной деятельности человека и т. д.

§ 2. Методы изучения режима подземных вод

Анализ многолетних наблюдений за режимом подземных вод свидетельствует о том, что под влиянием различных по генезису режимообразующих факторов — экзогенных (космические, метеорологические, гидрологические, биологические), эндогенных (геологические), искусственных (антропогенные) и природных условий (геологическое строение, литология, рельеф, почвы, наличие мерзлоты и т. п.) — происходят закономерные изменения физических свойств, состава и количества подземных вод, проявляющиеся в изменении их уровня и качества. Изучение этих изменений и выявление их связей с режимообразующими факторами и природными условиями являются основной целью стационарных наблюдений. Следует отметить, что наблюдения за режимом проводятся при изучении как грунтовых, так и напорных вод, хотя режим последних, если он не нарушен инженерной деятельностью человека, характеризуется сравнительным постоянством его основных элементов (пьезометрического уровня, состава и свойств).

Существенно более значительными и многообразными являются изменения режима грунтовых и неглубоко залегающих напорных вод, испытывающих заметное влияние разнообразных естественных и искусственных факторов. Эти изменения представляют наибольший научный и практический интерес в связи с необходимостью решения широкого круга народнохозяйственных задач. Для эффективного их решения в результате наблюдений за режимом должны быть получены данные о характере внутригодовых (сезонных) и многолетних колебаний основных элементов режима подземных вод (их уровней, температуры и химического состава) в различной природной обстановке и об основных факторах, определяющих характер режима подземных вод. Только на основе выявления региональных закономерностей режима подземных вод и их генетических связей с факторами и условиями, его определяю-

щими, можно подойти к правильному выбору и обоснованию методов прогнозов режима подземных вод, к обоснованной экстраполяции результатов стационарных наблюдений, полученных в точке, на обширные пространства, к картированию режима подземных вод и его достоверным прогнозам.

Изучение режима подземных вод осуществляется путем стационарных гидрогеологических наблюдений за изменением основных

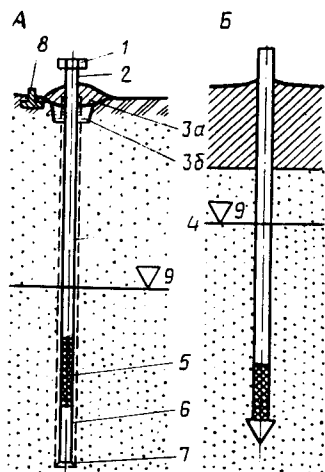


Рис. 32. Конструкция наблюдательных пунктов:

А — наблюдательная скважина: 1 — оголовок, 2 — патрубок, 3 — комбинированный глиняно-цементный замок (а — цемент, б — глина), 4 — колонна труб, 5 — рабочая часть фильтра, 6 — отстойник, 7 — пробка, 8 — репер, 9 — уровень подземных вод, Б — штекфильтр: 9 — уровень грунтовых вод

элементов режима (уровней, расходов, температуры, химического и бактериологического составов) по специально оборудуемой сети наблюдательных пунктов (скважин, источников, шурфов, колодцев, рис. 32). Наиболее предпочтительны для наблюдения за режимом подземных вод скважины и источники. В районах нарушенного режима для наблюдений используются также водозаборные и дренажные сооружения, горные выработки и т. п. При неглубоком залегании подземных вод (до 10 м) в рыхлых отложениях для наблюдений за уровнем используют забивные фильтры и штекфильтры (рис. 32, Б), изготавливаемые из буровых труб и штанг (диаметром 2—3" и более).

В конструктивном отношении наблюдательные водопункты должны отвечать всем требованиям, предъявляемым к режимным пунктам (исключение загрязнений и прямого попадания атмосферных осадков, изоляция точки наблюдений от влияния других объектов, возможность отбора проб воды, замеров уровня и температуры, прове-

дения ремонта, незначительная инерционность скважины и сопротивление фильтра и т. д.). Эти требования находят отражение в специфике сооружения и оборудования наблюдательных скважин (рис. 32), о чем уже говорилось в гл. III (см. § 1.2).

Некоторой спецификой отличается оборудование скважин режимной сети в многолетнемерзлых породах. Она обусловлена возможностью образования ледяных пробок, для устранения которых практикуют периодический прогрев скважин паром, горячей водой, электронагревателями, заполнение стволов наблюдательных скважин соляной или рассолом, прокачки скважин и т. д.

В связи с большим значением региональных и локальных исследований режима подземных вод в нашей стране создана обширная наблюдательная сеть, основой которой является региональная сеть

наблюдательных пунктов Министерства геологии (около 100 режимных станций и свыше 28 тыс. наблюдательных пунктов). В ближайшем будущем количество наблюдательных пунктов этой сети будет доведено до 45—50 тыс., что обеспечит разветвленную информационную базу службы регулярных прогнозов режима грунтовых вод, действующей в системе Министерства геологии СССР с 1970 г. Большой объем работ по изучению режима и баланса подземных вод выполняется в нашей стране по Международной гидрологической программе в пределах специально выделенных типовых (репрезентативных) бассейнов.

Таким образом, изучение региональных закономерностей режима подземных вод осуществляется на базе государственной опорной сети гидрогеологических наблюдательных пунктов специальными комплексными гидрогеологическими и инженерно-геологическими партиями (на многих из них проводится и изучение баланса подземных вод). Кроме того, стационарные наблюдения осуществляются многими ведомствами и организациями на массивах орошения и осушения, в районах интенсивной эксплуатации месторождений минеральных вод, нефти и газа, твердых полезных ископаемых, на действующих водозаборах и т. д. По многим пунктам имеются ряды наблюдений за режимом подземных вод 20-летней и большей продолжительности. Выполненные исследования позволили выявить основные региональные закономерности в пределах значительных площадей территории страны, разработать научные основы методов изучения режима подземных вод, анализа исходных данных, осуществления различных прогнозов режима подземных вод и его картирования. Детальное изложение этих вопросов дано в работах [1—3, 5—11].

Методика и особенности изучения режима подземных вод зависят от целевого назначения выполняемых исследований, содержания предполагаемых к решению задач, установленных закономерностей зональности режима, природных условий района, характера влияния режимообразующих факторов и других показателей.

Изучение естественного режима подземных вод. Изучение закономерностей естественного режима грунтовых вод должно охватывать основные водоносные горизонты и проводиться во всех районах, где эти горизонты представляют интерес для народного хозяйства в настоящее время или в перспективе. В результате таких исследований должны быть изучены ход сезонных и многолетних колебаний уровня и других элементов режима в различных гидрогеологических условиях, основные факторы режима, амплитуды сезонных и многолетних колебаний уровня и т. д.

Размещение опорной наблюдательной сети осуществляется на основе районирования исследуемой территории по условиям формирования режима грунтовых вод, с использованием крупномасштабных гидрогеологических карт и учетом степени изученности каждого из районов. При районировании территории учитывается влияние основных режимообразующих факторов, свойственных выделяемым

гидрогеологическим районам (по климатическим условиям выделяются провинции, по степени увлажненности — зоны, по степени дренированности — области, по литологическому составу водовмещающих пород — районы, по геоморфологическим условиям — участки, по мощности зоны аэрации — площади), и тем самым определяется направленность исследований по изучению режима и баланса подземных вод [10].

Наблюдательная сеть размещается в пределах каждого из гидрогеологических районов (основная единица районирования)

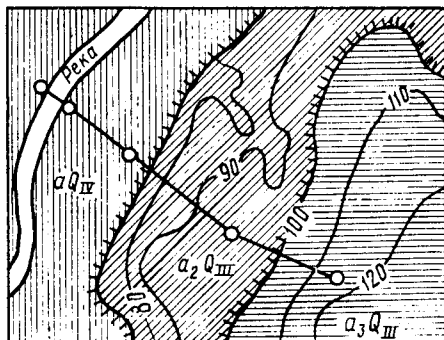


Рис. 33. Схема расположения наблюдательных скважин в гидрогеологическом районе:

1 — участок с приречным типом режима подземных вод, 2 — участок со склоновым типом режима подземных вод, 3 — участок с междуречным типом режима подземных вод, 4 — границы террас, 5 — створ наблюдательных скважин

в виде створов, ориентированных от водоразделов к дренам так, чтобы наблюдениями были охвачены все характерные для данного района комплексы водовмещающих пород и геоморфологические элементы (участки междуречий, склонов, террас и пойм, площади с различной мощностью зоны аэрации и т. д., рис. 33). Скважины на створах следует располагать в виде кустов (3 скважины, расположенных по потоку в условиях одномерного потока, и конверт из 5 скважин при радиальном в плане потоке), что обеспечивает определение элементов баланса грунтовых вод на основе гидродинамического анализа режима их уровня (при глубине залегания грунтовых вод не более 10 м последнее также возможно

но с помощью лизиметров-испарителей). Створы скважин располагают в направлении максимального изменения гидрогеологических показателей (по потоку).

В простых условиях при однородном строении водоразделов или террас в бассейнах крупных рек рекомендуется расположить по кусту скважин (поперечник из 3 скважин или конверт из 5 скважин) в пределах водораздела, на склоне от водораздела к террасе, на террасах и 3 скважины в зоне гидрогеологического воздействия основной дрены. При дренировании речной долиной напорных вод следует дополнительно заложить скважины на напорный водоносный горизонт как на водоразделе, так и в долине. В бассейнах малых рек кусты скважин на склонах и террасах можно не закладывать. Наблюдательные пункты по возможности следует приближать к гидрометеорологическим постам. Максимальное расстояние между наблюдательными пунктами в пределах однородного по гидроге-

ологическим условиям района не должно превышать 100 км, так как за этими пределами в режиме грунтовых вод ощутимо проявляется климатическая зональность [3, 10]. В сложных по геоморфологическим и литологическим условиям районах наблюдательная сеть сгущается (скважины располагаются на типовых участках, нередко вне створов).

Разместив таким образом наблюдательную сеть в пределах районов, автоматически обеспечивают изучение режима грунтовых вод в пределах областей, зон и провинций рассматриваемой территории.

Размещение наблюдательной сети для изучения естественного режима напорных вод также осуществляется на основе районирования территории, проводимого с учетом влияния основных режимообразующих факторов (геологического, тектонического и орографического строения, степени дренированности и глубины залегания подземных вод, условий их питания и разгрузки, литологии водоносных пород, взаимосвязи подземных и поверхностных вод и т. д.). Основной единицей такого районирования должен быть бассейн подземных вод, выделяемый по геоструктурным условиям. В пределах каждого из бассейнов схемы расположения точек наблюдательной сети для изучения режима и баланса грунтовых и напорных вод должны быть взаимосвязаны. Изучению подвергаются лишь основные по значимости водоносные комплексы и горизонты. Наблюдательные пункты в их пределах размещают на основе карт распространения, глубин залегания, гидроизопьез, литологического состава, гидравлической взаимосвязи горизонтов, химического состава подземных вод и др. Особенности артезианских бассейнов платформенного типа и артезианских бассейнов горноскладчатых областей предопределяют некоторую специфику размещения наблюдательных сетей при изучении режима подземных вод [3, 10].

В артезианских бассейнах платформенного типа наблюдательная сеть размещается по створам, заданным от областей питания изучаемых водоносных горизонтов к областям их разгрузки. Для малых артезианских бассейнов с однородным строением горизонтов необходимо закладывать не менее трех скважин на каждый горизонт (по одной скважине в области питания, напора и разгрузки.). При наличии нескольких областей питания и разгрузки, фациальной изменчивости горизонтов, а также в крупных артезианских бассейнах число скважин в створах увеличивается. При изучении в пределах бассейна нескольких водоносных горизонтов или их взаимосвязи скважины располагаются «кустами» с ярусно расположенными фильтрами в пределах изучаемых горизонтов.

В районах переуглубленных речных долин платформенных областей необходимо закладывать скважины на аллювий современной и переуглубленной долин как в пределах поймы и низких террас (где имеют место взаимосвязь и разгрузка различных горизонтов), так и на высоких террасах и водоразделах (где может осуществляться питание подземных вод переуглубленной долины), а также на нижележащий горизонт (рис. 34).

В пределах переуглубленных долин горных областей помимо поперечных створов следует предусматривать и продольные створы (для выявления картины снижения напоров вдоль долины).

При изучении режима подземных вод предгорных артезианских бассейнов (конусов выноса и пролювиальных шлейфов) наблюдательную сеть следует закладывать створами из 3—5 скважин по направлению от гор к долине или впадине. По мере выявления новых водоносных горизонтов необходимо закладывать дополнительные скважины на эти горизонты.

Для изучения влияния фильтрационной неоднородности в предгорных бассейнах целесообразно иметь поперечный створ скважин, перпендикулярный основному. В области разгрузки организуются наблюдения за источниками.

Для изучения естественного режима межгорных артезианских бассейнов наблюдательную сеть целесообразно размещать двумя-тремя створами поперек межгорных долин или впадин в зависимости от их протяженности, дополняя эти створы единичными скважинами между ними и образуя, таким образом, один продольный створ с поперечниками (рис. 35). Поперечные створы следует размещать в верхней, средней и нижней частях долины, охватывая

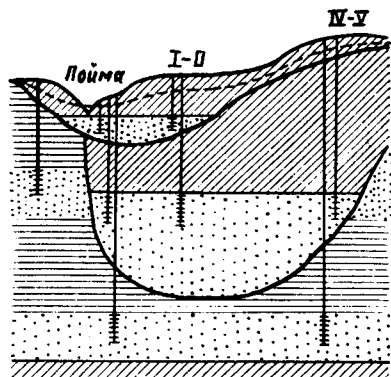


Рис. 34. Размещение наблюдательных скважин в переуглубленной долине (римские цифры — номера террас современной долины)

области питания, распространения и разгрузки напорных вод. Скважины обычно располагают кустами, чтобы охватить наблюдениями основные горизонты. В мелких межгорных бассейнах продольный створ можно не закладывать.

В малых артезианских бассейнах мульд и грабенов помимо основного створа от области питания до области разгрузки следует предусматривать и перпендикулярный ему створ для оценки влияния боковых границ.

Наблюдения за режимом подземных вод должны быть комплексными, т. е. включать изучение изменений их уровня, температуры и химического состава, а в засушливых районах — и солевого состава почв и пород зоны аэрации. В районах развития многолетнемерзлых пород кроме традиционных ведутся наблюдения за изменением глубины промерзания и оттаивания пород и их температуры. Частота наблюдений зависит от целевого назначения выполняемых исследований, характера и степени влияния естественных и искусственных факторов, особенностей режима, длительности цикла наблюдений и других факторов [1—8]. В среднем наблюдения за естественным режимом подземных вод проводятся 10 раз в месяц. В пе-

риоды интенсивного воздействия режимобразующих факторов (паводки, осадки и др.) частота наблюдений за режимом подземных вод (особенно грунтовых) увеличивается в 2—3 раза. Наблюдения за изменением химического и бактериологического состава подземных вод и их температуры выполняются реже, чем наблюдения за их уровнем (от 2—3 раз в месяц до 4—6 раз в год). Частота измерений элементов режима напорных вод обычно в 2—3 раза меньше, чем грунтовых.

Для первого периода исследований естественного режима подземных вод продолжительностью 2—3 года может быть рекомендована более широкая сеть наблюдательных точек, а затем на основе анализа полученных данных по режиму эта сеть может быть несколько сокращена, а частота дальнейших наблюдений уменьшена. В пределах каждого гидрогеологического района (участка) сохраняются те пункты, по которым полученные параметры режима близки к средним для данного района, установленным по широкой сети точек. Следует отметить, что изучение региональных закономерностей режима грунтовых вод проводится также и в районах, где природный режим на больших площадях нарушен искусственными факторами, а влияние последних приобретает региональный характер.

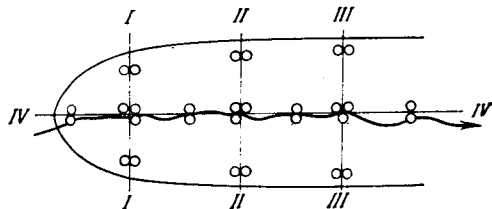


Рис. 35. Схема размещения кустов и поперечников наблюдательных скважин в межгорном артезианском бассейне; I—IV — номера створов

Особенности изучения нарушенного режима подземных вод. Изучение нарушенного режима подземных вод имеет важное значение при решении многих практических задач, связанных с использованием подземных вод или их регулированием. При организации такого изучения особое значение приобретают наблюдения за влиянием искусственных факторов, а выявленные количественные связи между отдельными элементами режима подземных вод (уровнем, температурой, химическим или бактериологическим составом) и искусственными факторами являются основой для выполнения прогнозов и обоснования мероприятий по рациональному использованию и регулированию подземных вод.

Принципы размещения наблюдательной сети и методика проведения наблюдений за нарушенным режимом устанавливаются с учетом природных особенностей района, его изученности, возможной степени влияния различных режимобразующих факторов, целевого назначения и задач планируемых исследований [3, 5—10]. Размещение наблюдательной сети и выполняемые наблюдения должны обеспечивать изучение особенностей нарушенного режима подземных вод, количественную оценку влияния искусственных факторов

(водоотбора, дренажа, орошения и др.) на отдельные элементы их режима (уровень, температуру, качество), уточнение природных условий изучаемых объектов, их расчетных параметров и схем, выполнение инженерных прогнозов и т. д.

В каждом случае схема размещения наблюдательных скважин устанавливается с учетом распространения изучаемых водоносных горизонтов, их гидравлической взаимосвязи, граничных условий, гидрогеохимической обстановки, литологии водоносных пород, особенностей влияния инженерных сооружений и характера поставленных перед наблюдениями задач. Она должна обеспечивать также изучение и естественного режима подземных вод как фона, на котором формируется их нарушенный режим.

Частота наблюдений за элементами режима подземных вод должна обеспечивать выявление основных закономерностей их изменения с учетом характера поставленных задач и предполагаемых методов их решения. Так, если данные наблюдений за режимом подземных вод предполагается использовать для определения гидрогеологических параметров, целесообразно иметь непрерывную запись изменения уровня и расхода (применение самописцев, расходомеров и т. п.). Для выявления общих закономерностей режима подземных вод наблюдения достаточно проводить 5—10 раз в месяц и реже. На участках гидравлической взаимосвязи подземных вод с поверхностными в периоды паводков и интенсивного выпадения атмосферных осадков уровень следует замерять ежедневно (в одно и то же время суток с точностью замера ± 1 см).

Наблюдения за изменением температуры воды необходимо осуществлять по выборочной сети режимных скважин через определенные интервалы глубин (0,2—0,8 м в слое суточных переменных температур, 2,5 м — до глубины 40 м, 25—50 м — до глубины 400 м и далее через 100 м до забоя). В пределах изучаемых водоносных и водоупорных горизонтов дополнительно измеряется температура не менее чем в трех точках (у кровли, в средней части и у подошвы горизонта). Частота измерений определяется целевым назначением наблюдений (от 5 раз в сутки для определения суточных изменений до одного раза в квартал для выявления закономерностей годовых изменений температуры). При специальных термометрических исследованиях шаг и частота замеров детализируются с учетом поставленных задач [8].

Состав и методика наблюдений за режимом химического состава подземных вод также зависят от целевого назначения. Основным типом химических анализов является сокращенный анализ (см. гл. VI, § 2). Полный химический анализ воды выполняется один раз в 1—2 года. При специальных исследованиях закономерностей изменения химического состава вод в разрезе вследствие подтягивания некондиционных вод целесообразно иметь несколько скважин с ярусно расположенными фильтрами. Состав анализов может быть ограничен определением компонентов или показателей, изменение которых ожидается при подтягивании некондиционных вод. Часто-

та отбора проб для анализа зависит от цели исследований, но всегда увеличивается при активизации действия факторов, изменяющих состав вод (паводки, поливные периоды, интенсификация водоотбора и др.). При изучении взаимосвязи подземных вод с поверхностными проводят синхронные отборы их проб.

Ниже остановимся на некоторых особенностях изучения режима подземных вод при решении важнейших практических задач (в районах эксплуатации подземных вод, орошения, осушения, строительства).

Районы водозаборов. Наблюдения за режимом подземных вод в районах водозаборов проводятся как в процессе поисково-разведочных работ (в основном, за естественным режимом), так и при эксплуатации водозаборов, особенно крупных, действующих в сложных гидрогеологических условиях, с ограниченными или невыясненными источниками формирования их эксплуатационных запасов. На основе этих наблюдений в процессе поисково-разведочных работ проводятся: 1) определение расчетных параметров и характеристик, используемых при геолого-промышленной оценке источников водоснабжения и прогнозах условий работы водозаборов (расчетные значения мощностей и напоров, минимально и максимально допустимые понижения уровня, коэффициенты, водопроницаемости, уровне- и пьезопроводности, упругоемкости, недостаток насыщения и водоотдача); 2) уточнение граничных условий области фильтрации (степень гидравлической связи подземных вод с рекой и другими горизонтами, зависимость их режима от осадков и испарения); 3) оценка размеров и возможных изменений естественного восполнения запасов; 4) оценка качества подземных вод и возможных его изменений.

Для решения указанных задач обычно осуществляется цикл наблюдений в течение 1—3 лет (минимум годичный), при возможности привлекаются данные стационарных наблюдений ближайших наблюдательных водопунктов опорной сети. В дальнейшем при развитии государственной опорной сети наблюдательных пунктов для решения перечисленных задач можно будет ограничиться разовыми замерами элементов режима на участке разведки с привлечением и соответствующей корректировкой всей необходимой для прогнозов информации по наблюдательным пунктам опорной сети, находящимся в аналогичных с изучаемыми природными условиях.

Стационарные наблюдения в процессе эксплуатации водозаборов должны обеспечить решение задач по уточнению расчетной схемы и гидрогеологических параметров, корректировку ранее выполненных прогнозов по условиям эксплуатации водозабора и месторождения в целом, разработку мероприятий по оптимизации условий работы водозабора и охране подземных вод от загрязнений и истощения. В соответствии с этими задачами наблюдательные пункты на водозаборах должны размещаться с учетом типа месторождения подземных вод, его граничных условий, геолого-гидрогеологических особенностей и других факторов [3, 5, 7, 10].

Обычно наблюдательные пункты располагают по двум взаимно пересекающимся створам, проходящим через центр водозабора, рассматриваемого в виде большого колодца радиусом R_0 . В каждом створе закладывают от 3 до 7 скважин: 1 в центре, 2 внутри большого колодца на расстоянии $(0,25-0,5) R_0$ от центра, 1—2 на расстоянии $(1-1,25) R_0$ и 1—2 на расстоянии $(1,5-2) R_0$. Желательно иметь наблюдательные скважины у ближайших границ потока, а также вне зоны влияния водозабора (естественный фон). В услови-

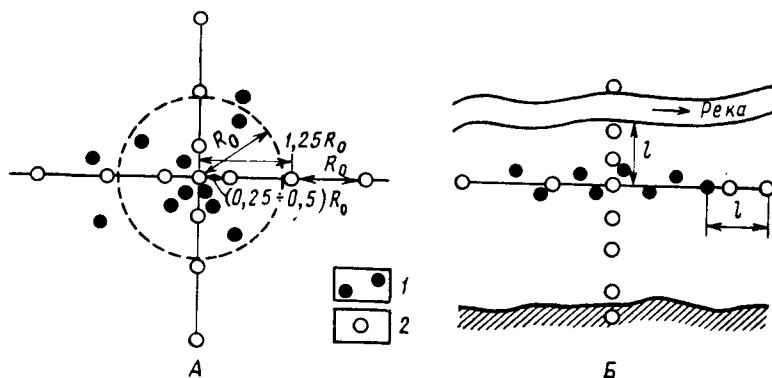


Рис. 36. Схемы размещения наблюдательной сети на действующих водозаборах:

А — в удалении от границ; Б — в долине реки; 1 — эксплуатационные скважины, 2 — наблюдательные скважины, R_0 — радиус «большого» колодца

ях перетекания рядом с наблюдательными скважинами на основной горизонт закладываются скважины на смежные горизонты и разделяющие толщи (только в пределах большого колодца). Створы ориентируют нормально к границам потоков и контурам их питания и разгрузки. Расстояния между соседними скважинами в зоне влияния водозабора уточняются из условия обеспечения в них разницы уровней не менее $0,25-0,3$ м.

На рис. 36 приведены схемы размещения наблюдательных пунктов на водозаборах, расположенных вдали от границ пласта и вблизи реки. Наблюдательный створ, ориентированный к реке (не менее 3 скважин, одна на урезе реки), должен обеспечить количественную оценку взаимосвязи подземных и поверхностных вод и особенностей их режима.

В сложных гидрохимических и санитарных условиях наблюдательная сеть должна обеспечивать и информацию о продвижении контуров некондиционных вод в плане и разрезе (створы к контурам и кусты ярусно расположенных скважин), о тенденциях в изменении качества воды (питьевого, лечебного, промышленного). В районах строительства и интенсивной эксплуатации напорных

вод песчано-глинистых отложений необходимы также наблюдения за возможными осадками поверхности Земли. Наблюдения за режимом на действующих водозаборах дополняются наблюдениями за соответствующими элементами режима (уровнями, дебитами, качеством воды) по всем эксплуатируемым скважинам, а при необходимости и гидрологическими исследованиями поверхностных водотоков. Частота замеров элементов режима на водозаборах хозяйственно-питьевого назначения принимается обычно не менее 10 раз в месяц, на других водозаборах реже. На инфильтрационных водозаборах, работающих при установившемся режиме, наблюдения сокращаются до одного раза в месяц.

Районы орошения и осушения. Изучение режима подземных вод (как естественного, так и нарушенного) является в таких районах одним из наиболее важных видов гидрогеологических исследований, без проведения которого невозможны научно обоснованное планирование мелиоративного строительства и эффективная эксплуатация систем орошения и осушения.

В районах орошения такие исследования проводятся для оценки мелиоративного состояния земель, проектирования систем орошения и дренажа, обоснования режима орошения и эффективности работы дренажных сооружений, необходимости проведения промывных поливов, агромелиоративных и других мероприятий. Для выявления основных закономерностей режима и обоснования мелиоративных мероприятий здесь чрезвычайно важным является также изучение водного и солевого балансов орошаемых массивов.

Режим и баланс подземных вод в районах орошения изучаются на основе наблюдений в пределах внутрихозяйственной и временной наблюдательных сетей (создаются специально на массивах орошения) с привлечением данных по опорной региональной сети (находится в ведении режимных гидрогеологических партий) и результатов воднобалансовых исследований, выполняемых на типовых балансовых участках.

Размещение наблюдательной сети осуществляется на основе карт гидрогеолого-мелиоративного районирования с учетом специфики решаемых задач и особенностей мелиоративного освоения территории. При этом необходимо предусмотреть изучение режима подземных вод (грунтовых и связанных с ними напорных) основных горизонтов вплоть до регионального водоупора. Для этого размещаются одиночные скважины и кусты пьезометров. Спецификой выполняемых исследований является необходимость полного учета всего комплекса ирригационно-хозяйственных условий и факторов, оказывающих решающее влияние на формирование режима грунтовых вод.

Для решения специальных задач (определение гидрогеологических параметров, оценка влияния на режим подземных вод мелиоративных систем и др.) следует предусматривать размещение скважин по створам, пересекающим крупные каналы, дрены, поливные

и осушительные участки. К числу элементов наблюдений при изучении режима относятся уровень, температура и химический состав подземных вод, расходы скважин, каналов и Дрен, составные элементы водного и солевого балансов.

В районах осушения исследования режима проводятся для обоснования проектирования осушительных систем, оценки эффективности их действия во времени и по площади, осуществления контроля и регулирования водного режима почв, определения параметров осушаемых пород и осушительных систем, оценки влияния систем осушения на прилегающие территории и решения других задач. Так же, как и на массивах орошения, здесь важная роль отводится водно-балансовым исследованиям, во многом определяющим направленность мелиоративных мероприятий, большое значение придается региональным исследованиям режима. Вопросы изучения режима и баланса подземных вод в районах орошения и осушения рассмотрены в гл. XII и XIII.

Районы разработки месторождений полезных ископаемых. Основным режимобразующим фактором в таких условиях является рудничный водоотлив. Создаваемая для наблюдений за режимом сеть должна обеспечить определение эффекта водоотлива, изменение этого эффекта во времени в зависимости от влияния естественных (атмосферные осадки, поверхностный сток) и искусственных (расширение и углубление фронта горных работ, система отработки) факторов, изучение изменения состава и качества рудничных вод, наблюдения за развитием депрессионной воронки и оценку влияния водоотлива на гидрогеологические и мелиоративные условия прилегающих территорий, уточнение схемы и параметров водоотлива и разработку мероприятий по рациональному использованию и охране водных, земельных и других природных ресурсов.

С учетом необходимости решения перечисленных задач наблюдательная сеть обычно устраивается в виде двух пересекающихся створов, лучи которых ориентируются от центра разрабатываемого рудного поля (участка) к ближайшим границам водоносных пластов (горизонтов), обводняющих месторождение. При изучении режима нескольких в разрезе горизонтов наблюдательные пункты в створах устраиваются в виде кустов скважин. К элементам наблюдений относятся уровни, температура и качество подземных вод, величины водопритока и водоотлива. Частота замеров обычно составляет 3—5 раз в месяц. Она увеличивается при интенсивном проявлении основных режимобразующих факторов (до 10 и более раз в месяц).

Районы промышленного и гражданского строительства. Изучение и прогноз режима грунтовых (а иногда и напорных) вод являются обязательными при проектировании инженерного строительства в силу их определяющего влияния на инженерно-геологические условия и экономическую эффективность строительства. Наблюдения за режимом подземных вод начинаются

еще в процессе изысканий под строительство (естественный режим) и продолжают в дальнейшем уже с учетом возможного проявления разнообразных искусственных факторов (утечек из различных трубопроводных систем, сброса сточных вод, нагрузки от зданий и сооружений, действия дренажей, регулирования поверхностного стока и т. д.). Задачи таких наблюдений чрезвычайно разнообразны, но в общем они сводятся к выявлению особенностей естественного и нарушенного режимов, прогнозам и оценке влияния различных искусственных и естественных факторов на режим подземных вод освоеной территории и условий ее дальнейшего использования [3, 5, 6, 10].

§ 3. Методы изучения баланса подземных вод

Изучение баланса подземных вод проводится в связи с необходимостью выявления и оценки ведущих факторов формирования режима подземных вод, определения путей прогноза и управления режимом в связи с эксплуатацией инженерных сооружений и отдельных территорий, при гидрогеологическом обосновании проектов систем орошения и осушения, оценке естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод (источники восполнения), величины подземного питания рек и решения других практических и теоретических задач [1, 4, 6, 7]. Баланс изучается как для отдельных участков территории (на водно-балансовых площадках), так и для крупных районов и целых бассейнов рек (в пределах ключевых балансовых участков и репрезентативных бассейнов).

В гидрогеологической практике для изучения водного баланса широко применяются две группы методов: 1) гидродинамического анализа режима подземных вод (с использованием аналитических и конечноразностных решений дифференциальных уравнений) и 2) экспериментальные (водно-балансовый и лизиметрический).

Метод гидродинамического анализа режима подземных вод основан на применении теории неустановившегося движения грунтовых вод к расчету основных элементов их баланса по данным наблюдений за режимом подземных вод. Метод всесторонне учитывает гидрогеологическую обстановку, позволяет количественно оценить инфильтрацию осадков, оросительных вод, достигающих уровня грунтовых вод, расход последних на суммарное испарение и подземный сток, а также оценить необходимые гидрогеологические параметры. Все эти данные непосредственно используются при составлении прогнозов изменения режима подземных вод под влиянием хозяйственной деятельности человека. Метод особенно эффективен и экономичен в практике гидрогеологических исследований, поскольку главным исходным материалом служат данные наблюдений за режимом уровня воды, получаемые по специальным створам наблюдательных скважин, закладываемых на типичных балансовых участках (элементах потока).

В обобщенном виде баланс грунтовых вод для элемента потока площадью F за время Δt выражается уравнением

$$\mu \Delta H = \frac{Q_1 - Q_2}{F} \Delta t + W \Delta t + W_{\text{гл}} \Delta t, \quad (\text{V.1})$$

где μ — водоотдача или недостаток насыщения пород; Q_1 и Q_2 — соответственно приток и отток грунтовых вод в элементе потока, W — величина питания грунтовых вод (может быть положительной при инфильтрации атмосферных и поливных вод и отрицательной — за счет испарения); $W_{\text{гл}}$ — интенсивность перетекания через подошву за счет водообмена с ниже залегающим водоносным горизонтом.

Сущность метода состоит в том, что все входящие в уравнение (V.1) элементы водного баланса Q_1 , Q_2 , W и $W_{\text{гл}}$ определяются с использованием данных о положении уровня воды в скважинах, выделяющих элементы потока, по соответствующим формулам динамики подземных вод (аналитические или конечно-разностные решения). При этом необходимо предварительно оценить используемые при расчетах гидрогеологические параметры (коэффициенты водопроницаемости, уровнепроводности, коэффициент фильтрации раздельных слоев и др.). Для этого в принципе можно использовать данные стационарных наблюдений (если эти параметры не определены в результате опытно-фильтрационных работ). Методика применения уравнения (V.1) к определению отдельных элементов водного баланса и анализу баланса в годовом разрезе детально рассматривается в курсе «Динамика подземных вод» и в специальных руководствах [4, 11].

Вычислив элементы баланса грунтовых вод по каждому участку потока в годовом разрезе, выявляют корреляционные связи этих элементов с главнейшими факторами, например с мощностью зоны аэрации или другими определяющими условиями. Используя выявленные корреляционные связи, экстраполируют результаты на всю изучаемую площадь. При этом строят карты по сезонам года: величин питания грунтовых вод $W \Delta t$, разности между притоком и оттоком $(\Delta Q/F) \Delta t$, аккумуляции запасов грунтовых вод и др., позволяющие изучать процесс формирования подземного стока, оценивать ресурсы подземных вод и решать другие практические задачи.

Экспериментальные методы позволяют определить элементы водного баланса на типичных по гидрогеологическим условиям балансовых участках. Это дает возможность последующего переноса получаемых данных на всю изучаемую или аналогичную по гидрогеологическим условиям территорию. При водно-балансовом методе все элементы водного баланса, входящие в балансовое уравнение типа (V.1), определяются экспериментально с помощью различных приборов и опытных установок независимо один от другого. При лизиметрическом методе экспериментальное определение элементов

водного баланса осуществляется с помощью специальных лизиметрических установок различных конструкций [4].

Лизиметры с постоянным уровнем грунтовых вод позволяют непосредственными измерениями определять инфильтрационное питание или суммарное испарение, обусловленное совокупным влиянием всех действующих факторов за расчетный промежуток времени Δt (рис. 37). Эти величины соответственно определяются объемами воды, отбираемой (сливаемой) или добавляемой для поддержания в лизиметре заданного постоянного уровня воды.

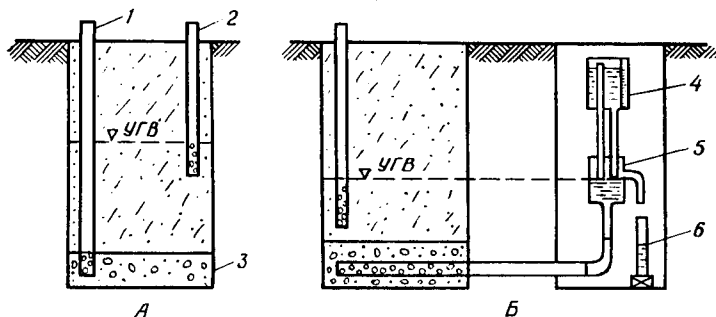


Рис. 37. Схема устройства лизиметров:

А — лизиметр с нарушенным монолитом (с постоянным уровнем грунтовых вод); Б — то же, с непрерывным регулированием уровня грунтовых вод; 1 — доливная трубка, 2 — наблюдательная трубка, 3 — песчано-гравийный фильтр, 4 — сосуд Мариотта, 5 — сливной бачок, 6 — сосуд для измерения инфильтрации до уровня грунтовых вод

Для получения зависимостей величин этих элементов баланса от мощности зоны аэрации устанавливается серия подобных лизиметров с монолитами почвы на площадках, различающихся лишь глубиной до воды (от 1 до 3—4,5 м).

Лизиметры с переменным во времени уровнем грунтовых вод, автоматически поддерживаемым на высоте естественного уровня, позволяют определять величины разности между притоком и оттоком грунтовых вод в горизонтальном направлении.

Комбинированная установка обоих типов лизиметров с постоянным и переменным уровнями воды и наблюдательной скважины на грунтовые воды, по которой определяют величину изменения уровня воды ΔH , позволяет рассчитывать важный параметр водоотдачи или недостатка насыщения пород μ по формуле

$$\mu = \frac{\Delta t}{\Delta H} \left(\frac{Q_1 - Q_2}{F} + W \right), \quad (V.2)$$

где все величины определяются экспериментально. Установленные в результате лизиметрических наблюдений зависимости изменения величин инфильтрации, конденсации и испарения от мощности зоны аэрации и других факторов дают основания для обоснованной экстраполяции установленных закономерностей и особенностей водного баланса на всю изучаемую территорию.

Вопросы применения водно-балансовых исследований для решения отдельных практических задач рассмотрены в последующих главах учебника (см. гл. IX и XII), а обоснование методов изучения водного баланса применительно к решению различных гидрогеологических задач содержится в специальной литературе [4, 6].

§ 4. Прогноз и картирование режима подземных вод

Важнейшими задачами изучения режима и баланса подземных вод являются обоснованный прогноз и картирование их режима во времени и в пространстве. Под прогнозом режима подземных вод понимается предвидение развития гидрогеологических процессов и явлений во времени и в пространстве, т. е. изменений уровня, температуры, химического состава, ресурсов или запасов подземных вод, происходящих под воздействием различных естественных и искусственных факторов. Теоретической предпосылкой прогнозов является выявление основных закономерностей и связей в формировании режима подземных вод под влиянием воздействия и изменения режимообразующих факторов (естественных и искусственных).

Многолетний опыт режимных наблюдений и анализ закономерностей и особенностей формирования режима подземных вод в широком диапазоне действия режимообразующих факторов [1, 4, 6, 9] подтверждают наличие определенных причинно-следственных связей между ними и возможность использования этих связей с той или иной степенью достоверности для прогнозов. Чрезвычайное многообразие, сложность и комплексность влияния режимообразующих факторов в различных природных условиях делают задачу прогноза режима подземных вод достаточно сложной. При прогнозах естественного и нарушенного режима подземных вод пока устанавливаются и используются корреляционные связи элементов режима только с наиболее динамичными режимообразующими факторами, в основном климатическими (осадки, испарение, температура и др.) и искусственными (водозабор, водоотлив, орошение, дренаж и др.), а сами прогнозы выполняются применительно к отдельным элементам режима (уровня, дебитов, химического состава, температуры). Необходимость, важность и задачи, решаемые на основе прогнозов, проиллюстрированы выше (см. гл. V, § 1).

Виды прогнозов. В зависимости от преобладающего действия режимообразующих факторов и целевого назначения выделяют *прогнозы естественного и нарушенного режимов* подземных вод. Прогноз естественного режима служит фоном, на основе которого даются прогнозы нарушенного режима. Прогноз естественного режима является прогнозом общего пользования, а прогнозы нарушенного режима — специализированными. По заблаговременности осуществления прогнозы подразделяются на *экстренные* (за

1—15 сут), *краткосрочные, долгосрочные* (сезонные и многолетние) и *сверхдолгосрочные* (за 3 года и более). Экстренные прогнозы выдаются с целью предупреждения о возможных опасных проявлениях изменения режима подземных вод, остальные используются для планирования водохозяйственных мероприятий [2, 3].

Методы прогнозов. Для прогнозов режима подземных вод применяются следующие группы методов: 1) гидродинамические; 2) вероятностно-статистические (факторные); 3) тенденций; 4) балансовые; 5) гидрогеологической аналогии.

Гидродинамические методы основаны на использовании соответствующих формул динамики подземных вод и обычно применяются в условиях, когда режим предопределяется действием одного-двух факторов. В эту группу входят методы, основанные на использовании уравнений Буссинеска — Майе, Форхгеймера, аналитические решения для прогноза подпора, условий работы водозаборных, дренажных и других сооружений, конечно-разностные решения и моделирование. Все эти методы в основном позволяют прогнозировать изменения уровня и дебита и требуют предварительного определения расчетных параметров и фильтрационной схемы области фильтрации. Детальное их рассмотрение дается в курсе «Динамика подземных вод» и в специальной литературе [1—3, 6, 9].

Вероятностно-статистические методы базируются на выявлении и использовании при прогнозах причинно-следственных связей между элементами режима подземных вод и определяющими их факторами (одним, двумя или совокупностью многих). Установленные прогностические связи позволяют прогнозировать элементы режима подземных вод с указанием достоверности их прогноза.

Методы тенденций основаны на экстраполяции выявленных по материалам предшествующих наблюдений тенденций в ходе многолетних колебаний уровня подземных вод.

Балансовые методы прогноза основаны на использовании соответствующих уравнений водного баланса и прогнозе поведения уровня или других элементов режима в зависимости от соотношения отдельных элементов водного баланса, определяемых экспериментально или аналитически.

Прогнозы методом гидрогеологической аналогии заключаются в экстраполяции отдельных установленных особенностей и закономерностей режима подземных вод на аналогичные по гидрогеологическим условиям с изученным участки.

Картирование режима подземных вод. Существенные изменения уровня, запасов и качества подземных вод во времени и в пространстве определяют необходимость картирования установленного и прогнозируемого режимов подземных вод. В зависимости от назначения, картируемых или прогнозируемых элементов и других показателей содержание карт может быть самым разнообразным. Так, карты информации содержат в основном информацию, полученную в результате наблюдений за режимом подземных вод, а

карты прогнозов дают представление о возможных изменениях этого режима. Условно карты режима подземных вод подразделяются на синтетические, аналитические и комплексные [2, 3].

Синтетические карты дают обобщенное представление о закономерностях режима и чертах его сезонных и многолетних изменений. К ним относятся карты районирования территорий по особенностям и типам режима подземных вод (по масштабам они подразделяются на обзорные, мелко-, средне- и крупномасштабные), на которых приводятся обобщенные характеристики всех выделяемых разновидностей режима подземных вод.

Аналитические карты дают представление о площадном изменении отдельных элементов режима. Сюда относятся карты глубин залегания подземных вод (на определенную дату), различной обеспеченности уровней грунтовых вод (например, 1, 3, 5, 50, 95, 97 и 99%), режима уровней подземных вод, амплитуд колебаний уровней подземных вод и др.

На комплексных картах отражается одновременно несколько различных характеристик режима подземных вод. Например на картах баланса подземных вод могут быть отражены инфильтрационное питание (цветом), испарение (штриховкой) и подземный сток (изолиниями). Возможно комплексирование и других типов карт. Детальное изложение вопросов прогноза и картирования режима подземных вод содержится в работах В. С. Ковалевского, А. А. Коноплянцева и С. М. Семенова (2, 3).

В качестве примера составления карт прогнозов режима можно привести карты прогноза уровней грунтовых вод, выпускаемые службой регулярных прогнозов, функционирующей в системе Министерства геологии СССР с 1970 г. В 1970 г. впервые в мировой практике был составлен и выпущен бюллетень прогноза летне-осенних минимальных и среднегодовых уровней грунтовых вод для территории европейской части СССР и Казахстана общей площадью около 10 млн. км². Теперь такой бюллетень выпускается ежегодно с прогнозом предвесеннего минимального, весенне-летнего максимального (паводкового) и летне-осеннего уровней грунтовых вод. Аналогичные прогнозы выпускаются для территории УССР, РСФСР и других районов страны (3). При прогнозах уровней используются генетические зависимости прогнозных уровней от предшествующих метеорологических условий и уровней, закономерности истощения горизонтов в период отсутствия питания и другие связи.

Заблаговременность составляемых прогнозов колеблется от 1,5 до 4 месяцев в зависимости от приуроченности того или иного района к соответствующей ландшафтно-климатической зоне.

Прогноз режима грунтовых вод выдается в виде карты распределения предсказываемых уровней и пояснительного текста к ней. На карте величины прогнозных уровней грунтовых вод представляются в виде коэффициентов относительного положения λ_r . Коэффициенты относительного положения характеризуют величину отклонения

уровня от среднеголетних значений, выраженную в процентах или долях многолетней амплитуды A .

Данный метод картирования режима уровня грунтовых вод позволяет преодолеть ограничения, связанные с значительной фильтрационной неоднородностью зоны аэрации и литологических особенностей водовмещающих пород, а также с разнообразием в геоморфологии местности. Коэффициент относительного положения уровня λ_h вычисляется по формуле

$$\lambda_h = (h_{\text{макс}} - h_p) / (h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}}), \quad (\text{V.3})$$

в соответствии с которой расчетная глубина до уровня грунтовых вод h_p (в метрах от поверхности земли) определяется выражением

$$h_p = h_{\text{макс}} - \lambda_h (h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}}) = h_{\text{макс}} - \lambda_h A = h_{\text{мин}} + \lambda_h A. \quad (\text{V.4})$$

В формулах (V.3) и (V.4) $h_{\text{макс}}$ и $h_{\text{мин}}$ — максимальная и минимальная глубины уровня грунтовых вод за весь период наблюдений (иногда вместо $h_{\text{макс}}$ и $h_{\text{мин}}$ принимают глубины 1%-ной и 99%-ной обеспеченности).

Существующая синхронность в ходе колебаний дает возможность распространять результаты прогноза, полученные в репрезентативной наблюдательной точке, на значительное расстояние.

Дополнительную информацию можно получать из прилагаемой карты распределения фактических уровней предшествующего года, также составленной в относительных показателях. Наличие двух карт позволяет более наглядно представить степень и направленность изменений прогнозируемых уровней в многолетнем разрезе.

Учитывая, что основным показателем величины и изменения естественных ресурсов является уровень (мощность горизонта) и амплитуда его изменений, можно осуществлять прогнозы и картирование изменений естественных ресурсов грунтовых вод в относительных показателях, используя аналогично понятию коэффициента относительного положения уровня λ_h понятие о коэффициенте относительной изменчивости естественных ресурсов $\lambda_{\Delta h}$:

$$\lambda_{\Delta h} = \frac{\Delta h_i - \Delta h_{\text{мин}}}{\Delta h_{\text{макс}} - \Delta h_{\text{мин}}}, \quad (\text{V.5})$$

где Δh_i — прогнозируемая величина амплитуды весеннего подъема уровня в данной точке; $\Delta h_{\text{макс}}$ и $\Delta h_{\text{мин}}$ — соответственно максимальная и минимальная амплитуды весеннего подъема уровня грунтовых вод за многолетний период.

Карты распределения прогнозных уровней и изменения естественных ресурсов грунтовых вод дают возможность принимать оперативные решения по планированию и проведению различных водохозяйственных мероприятий и использовать эту информацию при решении любых гидрогеологических задач.

§ 5. Определение гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод

Данные стационарных наблюдений за изменением уровня подземных вод под влиянием естественных или искусственных факторов — необыкновенно ценная информация, на основе которой возможно определение гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и уточнение граничных условий области фильтрации без специальных опытно-фильтрационных работ. Определение гидрогеологических параметров является обратной задачей, при которой соответствующие изучаемым природным условиям уравнения и расчетные зависимости решаются относительно входящих в них параметров с использованием данных о поведении уровней и расходов потока, получаемых в процессе наблюдений за режимом подземных вод.

Таким образом, успешное использование данных наблюдений за режимом подземных вод для определения гидрогеологических параметров возможно лишь в тех случаях, когда достаточно хорошо установлены природные условия и факторы, определяющие изменение (или распределение) уровней подземных вод в пределах изучаемой территории, и, следовательно, правильно и обоснованно могут быть выбраны исходные уравнения или расчетные зависимости, описывающие закономерности этих изменений. В зависимости от сложности природных условий области фильтрации и действия обуславливающих закономерности поведения уровня факторов для определения гидрогеологических параметров решением обратной задачи используются аналитические зависимости (обычно при однородном строении области фильтрации и простых природных условиях) или уравнения в конечных разностях (в сложной природной обстановке). В очень сложных природных условиях обратная задача решается с помощью моделирования или ЭЦВМ.

На основе стационарных наблюдений определяются минимальные и средние значения мощностей и напоров водоносных горизонтов и комплексов, коэффициенты уровня- и пьезопроводности, недостаток насыщения и водоотдача горных пород в зоне колебания уровня подземных вод, упругая водоотдача, интенсивность инфильтрационного питания W или обобщенный параметр W/K , степень гидравлической связи водоносных горизонтов с рекой (обобщенный показатель ΔL , учитывающий степень заиленности и закольматированности русла реки и подрусловых пород, несовершенство вреза реки, сопротивление ее ложа и другие факторы). Соответствующие расчетные зависимости и приемы определения указанных гидрогеологических параметров рассматриваются в курсе «Динамика подземных вод» и в специальной литературе.

Наиболее достоверно гидрогеологические параметры определяются по данным наблюдений за изменением уровня подземных вод в районах действующих водозаборных и дренажных сооружений, в прибрежных зонах рек, каналов и водоемов, где основными

факторами изменения уровня подземных вод являются их водоотбор или изменения горизонта поверхностных вод, а амплитуды и зоны проявления таких изменений весьма значительны. Приемы и методы определения параметров по данным эксплуатации водозаборных и дренажных сооружений аналогичны изложенным в гл. IV для опытных откачек и выпусков. Однако при обработке данных эксплуатации водозаборных и дренажных сооружений возникает необходимость учета таких факторов, как сложный характер возмущения, рассредоточенное размещение возмущающих скважин и т. д.

В этих условиях реальные системы возмущающих сооружений заменяются большими колодцами, радиусы которых R_0 определяются следующим образом: при площадном расположении скважин $R_0 = 0,16P$ или $R_0 = 0,56\sqrt{F}$ (где P и F — соответственно периметр и площадь контура расположения скважин укрупненного водозабора); при линейном расположении скважин $R_0 = 0,2l$ (где l — длина ряда скважин); при кольцевом расположении скважин $R_0 = R_k$ (где R_k — радиус кольцевого контура). Дебиты водозаборов и дренажей схематизируются во времени и приводятся к удобным для учета зависимостям, обосновывается режим фильтрации и выбор соответствующих расчетных зависимостей и методов определения гидрогеологических параметров.

В условиях квазиустановившейся фильтрации используется, как правило, способ временного прослеживания уровня с введением значений приведенного времени и приведенного расстояния, аналогично тому, как это было показано для групповой откачки. При этом для временного прослеживания желательно использовать наблюдаемые скважины, достаточно удаленные от центра большого колодца (на расстояние $r \geq 1,5R_0$), что позволяет проводить определение параметров по формулам для откачки из одной скважины. В случае использования данных по скважинам, расположенным внутри большого колодца, несколько видоизменяются формулы для определения пьезопроводности (уровнепроводности), приобретая следующий вид: при использовании скважин, тяготеющих к центру площадной системы и к концевым участкам линейного ряда, соответственно

$$\lg a = 2 \lg R_0 - 0,79 + A_i/C_i \text{ и } \lg a = 2 \lg l - 1,23 + A_i/C_i; \quad (\text{V.6})$$

при использовании скважин, тяготеющих к периферийной части площадной системы, к центру линейного ряда, а также любых скважин внутри кольцевой системы

$$\lg a = 2 \lg R_0 - 0,35 + A_i/C_i, \quad (\text{V.7})$$

где R_0 — радиус большого колодца рассматриваемой системы скважин.

При построении графиков временного прослеживания следует использовать информацию, отвечающую временным ограничениям, связанным с заменой реальных водозаборов большими колодцами:

для скважин вне большого колодца, заменяющего площадную или кольцевую системы, контрольное время определяется критерием $t_k \geq 5R_0^2/a$, линейную систему — $t_k \geq 1,5l^2/a$; для скважин, расположенных на контуре площадного или внутри кольцевого водозабора, используется критерий $t_k \geq 2R_0^2/a$, а для скважин центральной части площадной системы — $t_k \geq R_0^2/a$ и, наконец, для скважин, расположенных в пределах линейной системы, следует принимать $t_k \geq l^2/a$.

При наличии достаточного количества наблюдательных скважин, расположенных за пределами большого колодца ($r > 1,5R_0$), для определения параметров могут использоваться способы площадного и комбинированного прослеживания [11].

В условиях инфильтрации постоянной интенсивности или при ее отсутствии основным возмущающим фактором на прибрежных участках потоков является изменение уровня в водотоках (например, паводки). Влияние удаленной границы при этом обычно не сказывается, поэтому для участков, где поток является линейным в плане, можно использовать аналитические решения, полученные для нестационарной одномерной фильтрации в условно однородных полуограниченных потоках, общий вид которых выражается зависимостью $\Delta H(x, t) = \Delta H^0 F(x, t)$, где $F(x, t)$ — специальная функция, зависящая от характера изменения уровня на границе.

Так, например, для условий полуограниченного потока (рис. 38) с линейным изменением уровня на границе поле изменения уровней описывается уравнением вида $\Delta H(x, t) = \Delta H^0 R(\lambda)$, где $R(\lambda)$ — специальная функция, значения которой зависят от аргумента $\lambda = x/2\sqrt{at}$, табулированы и приведены в справочниках. Тогда, считая изменения уровня на границе ΔH^0 и в наблюдательных скважинах $\Delta H(x, t)$ известными, получим соотношение

$$\frac{\Delta H(x, t)}{\Delta H^0} = R(\lambda). \quad (V.8)$$

Определяя таким образом значения функции $R(\lambda)$ по соотношению изменения уровней (при этом можно рассматривать соотношения $\Delta H_1/\Delta H^0$, $\Delta H_2/\Delta H^0$ или $\Delta H_2/\Delta H_1$), находят затем из таблиц значение аргумента λ и рассчитывают коэффициент урвнепроводности (пьезопроводности), исходя из выражения для аргумента $a = x^2/4\lambda^2 t$. Здесь t — время, в течение которого на границе потока имело место постепенное изменение уровня $vt = \Delta H^0$; $\Delta H(x, t)$ — соответствующее изменение уровня в наблюдательной скважине, расположенной на расстоянии x от границы за то же время t . Значение водоотдачи μ при известной водопроводности T и найденном значении урвнепроводности устанавливается по соотношению $\mu = T/a$.

При использовании описанного метода соотношения уровней $\Delta H(x, t)/\Delta H^0$ должны быть достаточно ощутимыми (в пределах 0,2–0,5). Характер изменения уровня на границе и в скважинах устанавливается по графикам режимных наблюдений. Если при

этом имеет место несовершенство вреза водотока, то оно должно учитываться в величине x при рассмотрении аргумента $\lambda = (x + \Delta L)/2\sqrt{at}$ и соответственно при определении увнепроедности.

Для условий мгновенного изменения уровня воды на границе полуограниченного потока в решении для $\Delta H(x, t)$ вместо функции $R(\lambda)$ учитывается функция $[1 - \Phi(\lambda)]$ и тогда соотношение изменения уровней по двум точкам рассматривается в виде

$$\Phi(\lambda) = 1 - \frac{\Delta H(x, t)}{\Delta H^0}. \quad (V.9)$$

Дальнейший ход определения параметров λ , a и μ аналогичен рассмотренному. Для определения аргумента λ по значению функции $\Phi(\lambda)$ используются таблицы или графики из справочных руководств [10].

Оценку сопротивления ложа водных границ (рек, водохранилищ, каналов, дрена) целесообразнее выполнять по данным наблюдений за стационарным режимом подземных вод (при $W=0$) по створу скважин, заложенных на основной водоносной горизонт по нормали к урезу водоема (рис. 38). Значение обобщенного показателя ΔL определяется из условия постоянства расхода потока на участке створа наблюдательных скважин по формуле (обозначения см. на рис. 38):

$$\Delta L = \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_1} \cdot l_{1-2} - l_{0-1}. \quad (V.10)$$

Величину инфильтрационного питания W или параметр W/K можно определить по данным о положении уровня в трех наблюдательных скважинах створа (например, в скважинах 1, 2 и 3 при условии $W = \text{const}$, рис. 38) из выражения

$$\frac{W}{K} = \frac{h_2^2 - h_1^2}{(l_{1-3} - l_{1-2}) l_{1-2}} + \frac{h_1^2 - h_3^2}{(l_{1-3} - l_{1-2}) l_{1-3}}. \quad (V.11)$$

Определение величины инфильтрационного питания возможно также на основе уравнений неустановившегося подпора, учитывающих наличие инфильтрации по значениям изменения уровня в двух точках (при известных значениях параметров μ и a) аналогично выше изложенному.

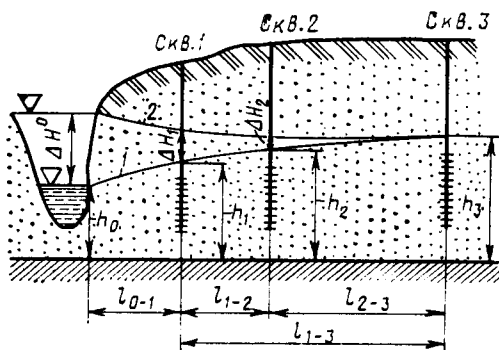


Рис. 38. Схема к определению параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод:

1 — стационарное положение УГВ; 2 — положение УГВ при подпоре

Приемы определения других гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод изложены в специальной литературе [4, 6, 9, 11].

В последние годы для определения некоторых гидрогеологических параметров, в частности упругой водоотдачи пласта и коэффициентов упругоэластичности и пьезопроводности напорных водоносных горизонтов и комплексов, используются данные стационарных наблюдений за изменением уровня подземных вод под влиянием изменения атмосферного давления [11].

Использование данных стационарных наблюдений повышает эффективность комплекса выполняемых гидрогеологических исследований и способствует более обоснованному и правильному решению многих практических и теоретических задач гидрогеологии.

ГЛАВА VI

ЛАБОРАТОРНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные гидрогеологические исследования — неотъемлемая составная часть общего комплекса разведочных гидрогеологических работ. Необходимость в их проведении возникает на всех стадиях осуществления гидрогеологических исследований при решении самых разнообразных народнохозяйственных задач. Выполняются они в основном на базах полевых и стационарных лабораторий.

Лабораторные гидрогеологические исследования обычно включают определение водно-физических и фильтрационных свойств горных пород, а также физических свойств, химического, газового и бактериального составов подземных и поверхностных вод¹. Иногда возникает потребность в определении минералогического состава горных пород, их физико-механических и физико-химических показателей, засоленности, изотопного состава проб воды и выполнении других специальных опытов и определений. Задачи и объемы лабораторных исследований определяются для каждого конкретного объекта в зависимости от целевого назначения, характера и стадии выполняемых изысканий, возможностей лабораторной базы и других факторов. Существенное значение лабораторные методы имеют при различного рода гидрогеохимических исследованиях и на первоначальных этапах поисково-разведочных гидрогеологических работ, когда лабораторные определения проводятся в массовом количестве в целях получения данных для ориентировочной сравнительной характеристики изучаемых гидрогеологических объектов.

¹ Детальнее лабораторные методы определения водно-физических и физико-механических свойств горных пород, а также физических свойств и химического состава вод рассматриваются в курсах «Аналитическая химия», «Общая гидрогеология», «Грунтоведение».

§ 1. Лабораторные методы изучения водных, физических и фильтрационных свойств горных пород

При лабораторных гидрогеологических исследованиях объектом изучения являются горные породы вместе с заключенными в них водами и газами, образующие сложную трехфазную систему, основные показатели и свойства которой зависят от соотношения и взаимодействий ее фаз и влияния внешних естественных и искусственных факторов. В зависимости от целевого назначения и типа изучаемых горных пород лабораторные исследования могут быть направлены как на комплексное изучение параметров и показателей, характеризующих свойства и поведение отдельных фаз и системы в целом, так и на изучение свойств и поведения отдельных фаз (без учета или с частичным учетом влияния других фаз системы). Так, при изысканиях для строительства в районах развития твердых (скальных и полускальных) горных пород в основном изучаются физико-механические свойства (без учета водно-физических и фильтрационных показателей), а при разведке и геолого-промышленной оценке в таких условиях месторождений подземных вод — главным образом фильтрационные свойства системы (без учета физико-механических свойств горных пород). Если объектом лабораторного изучения являются несвязные зернистые и особенно мягкие связные горные породы, то независимо от целевого назначения исследований необходимо изучать и учитывать и физико-механические, и водно-физические свойства горных пород, а также свойства и показатели отдельных фаз системы (физические свойства, химический и газовый состав подземных вод, физические и механические свойства твердой фазы проницаемость, сорбционные свойства горных пород и т. д.).

Таким образом, тесная взаимосвязь и взаимозависимость физико-механических и водно-физических свойств горных пород, физико-химических показателей воды и вмещающих горных пород требуют комплексного подхода к изучению системы вода — горные породы и в этой связи следует считать правильной наметившуюся тенденцию рассматривать качественную и количественную оценку водоносных горных пород как единой механической системы, свойства и поведение которой обусловлены взаимодействием и соотношением составляющих ее фаз [7].

При лабораторном определении водных и фильтрационных свойств горных пород (влажности, влагоемкости, водоотдачи, недостатка насыщения, капиллярного поднятия, водопроницаемости, пьезопроводности и др.) изучаются также и некоторые физико-механические свойства (пористость, гранулометрический состав, объемная масса и плотность, сжимаемость и др.), с которыми они взаимосвязаны и значения которых используются при оценке расчетных гидрогеологических параметров. Некоторые показатели, характеризующие свойства пласта и фильтрующейся жидкости, могут быть определены только в лабораторных условиях.

Пористость и гранулометрический состав — важнейшие показатели, определяющие фильтрационные свойства горных пород. Количественно пористость n характеризуется отношением объема пор V_n к объему пористого образца V (коэффициент пористости $n = V_n/V$) или к объему его скелета [коэффициент приведенной пористости $\varepsilon = n/(1-n)$]. Обычно различают три вида пористости — *общую* (n), *открытую* (n_o) и *активную* (динамическую n_a). Общая пористость характеризует объем всех пустот в породе; открытая — объем пустот, сообщающихся между собой; активная — объем пустот, по которым происходит движение свободной жидкости [3, 5, 10].

В лабораторных условиях определение пористости проводят расчетным путем (по данным определений плотности Δ и объемной массы γ горной породы) и с помощью специальных опытов на образцах [3—5, 7, 10, 11].

Расчетным путем *коэффициент пористости* определяется по формуле

$$n = \frac{\Delta - \gamma_c}{\Delta} \quad \text{или} \quad n = \frac{\Delta(1 + W_e) - \gamma}{\Delta(1 + W_e)}, \quad (\text{VI.1})$$

где W_e и γ_c — соответственно массовая влажность образца (в долях единицы) и объемная масса скелета. Значения влажности W_e , плотности и объемной массы горных пород и скелета (Δ , γ и γ_c) должны быть известны или определены лабораторным путем.

Открытая пористость сцементированных пород определяется методом насыщения предварительно экстрагированного, высушенного и взвешенного образца керосином под вакуумом. Для определения n_o используется формула

$$n_o = \frac{G_k - G}{G_k - G_{kk}}, \quad (\text{VI.2})$$

где G и G_k — масса сухого и насыщенного керосином образца в воздухе; G_{kk} — масса насыщенного образца в керосине.

Активная пористость может быть определена как разность между общей пористостью и максимальной молекулярной влагоемкостью в объемном выражении. Для песчаных пород значения полной, открытой и активной пористостей близки между собой. В лаборатории активная пористость определяется методом капиллярного вытеснения жидкости газом из образца пород, помещенного в капилляриметр. Проведение опытов с изменением давления вытеснения и использованием параметрических палеток позволяет ориентировочно определять активную пористость и распределение пор по размерам.

Гранулометрический состав определяется с помощью гранулометрического анализа и используется для ориентировочного определения фильтрационных свойств, классификации горных пород, палеогидрогеологических реконструкций, подбора фильтров скважин и других целей.

Методы лабораторного определения влажности (по разности массы влажных и высушенных пород), влагоемкости (по количеству воды, расходуемой на насыщение пород) и высоты капиллярного поднятия (по наблюдениям за капиллярным поднятием в трубках и капилляриметрах) общеизвестны и детально описаны в учебной литературе [3, 11]. Следует лишь отметить, что наиболее важным видом влагоемкости является *максимальная молекулярная влагоемкость*, которая в лабораторных условиях определяется методами высоких колонн, влагоемких сред и центрифугирования [3, 10, 11]. Величина максимальной молекулярной влагоемкости $W_{\text{макс}}$, (а для глинистых разностей полевой влагоемкости W_n) используется при лабораторном определении таких важнейших показателей емкостных свойств горных пород, как водоотдача и недостаток насыщения.

Водоотдача μ определяется отношением объема свободно стекающей гравитационной воды к общему объему осушенной породы (μ — величина безразмерная) и характеризует емкостные запасы гравитационной воды в водонасыщенных горных породах, которые могут быть получены при их осушении. Размер водоотдачи зависит от гранулометрического состава, активной пористости и скорости опускания уровня при осушении пород.

Исходя из балансовых соотношений, размер водоотдачи определяется в лабораторных условиях по разности между полной влагоемкостью W (при полном насыщении всех пор водой) и максимальной молекулярной влагоемкостью $W_{\text{макс}}$ (для глинистых пород полевой влагоемкостью W_n). Для песчаных пород ориентировочно величину водоотдачи μ определяют по разности между пористостью n и максимальной молекулярной влагоемкостью $W_{\text{макс}}$ (при этом возможно завышение значений μ из-за неучета стыковой воды и защемленного воздуха). Применяется также лабораторный способ определения водоотдачи (рис. 39), в соответствии с которым μ определяется по соотношению объемов свободно вытекающей воды ΔV и осушенных при этом пород $\omega \Delta H$, т. е. $\mu = \Delta V / \omega \Delta H$.

При известном значении коэффициента фильтрации песчаных пород K размер водоотдачи может быть приближенно определен по эмпирической формуле П. А. Бецинского: $\mu = 0,117 \sqrt[7]{K}$, где K принимается в м/сут [7].

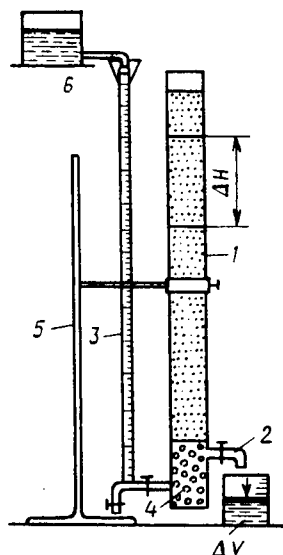


Рис. 39. Прибор для определения водоотдачи горных пород:

1 — трубка с образцом горных пород, 2 — сливной кран, 3 — пьезометр с зажимами, 4 — гравийный фильтр, 5 — штатив, 6 — напорный бачок

Аналогичным водоотдаче показателем, характеризующим способность горных пород принимать воду при их насыщении, является *недостаток насыщения*, который в лабораторных условиях определяется по разности между полной влагоемкостью (или пористостью) и естественной влажностью пород в рассматриваемых условиях ($\mu_n = W - W_e$). Обычно для пород, залегающих на глубине более 3 м, при практических расчетах недостаток насыщения принимают равным водоотдаче. Гравитационная водоотдача для различных типов пород ориентировочно изменяется в следующих пределах: суглинки песчанистые — 0,005—0,05; супеси, пылеватые и глинистые пески, торфа — 0,05—0,1; тонкозернистые пески — 0,1—0,15; мелкозернистые пески — 0,15—0,2; среднезернистые пески — 0,2—0,25; крупнозернистые и гравелистые пески — 0,25—0,35; трещиноватые известняки — 0,001—0,1; трещиноватые песчаники 0,02—0,03.

Фильтрационные свойства горных пород, как известно, характеризуются *коэффициентами фильтрации* K и *проницаемости* K_p . Коэффициент фильтрации, зависящий от геометрии порового пространства и свойств фильтрующей жидкости (плотности и вязкости), используется главным образом для характеристики водопроницаемости горных пород по отношению к пресным и слабоминерализованным подземным водам. При изучении фильтрационных свойств пород по отношению к подземным водам переменного состава, нефти, газам и многофазным жидкостям используется коэффициент проницаемости, зависящий только от геометрии порового пространства. Коэффициенты фильтрации и проницаемости связаны между собой соотношением

$$K = K_p \left(\frac{\gamma}{\eta} \right) = K_p \left(\frac{\rho g}{\eta} \right) = K_p \left(\frac{g}{\nu} \right), \quad (VI.3)$$

где η и ν — коэффициенты динамической и кинематической вязкости фильтрующей жидкости; γ и ρ — удельный вес и плотность фильтрующей жидкости; g — ускорение силы тяжести.

В лабораторных условиях коэффициенты фильтрации и проницаемости определяют на основе эмпирических зависимостей по данным лабораторных определений пористости и гранулометрического состава (в основном для песчаных пород) и опытов по фильтрации жидкостей и газов через образцы горных пород нарушенной и ненарушенной структуры.

Эмпирические зависимости (формулы Хазена, Сликтера, Крюгера, Замарина, Козени, Терцаги и др.) рекомендуются для приближенной сопоставительной оценки коэффициента фильтрации песчаных пород на первоначальных стадиях исследований. При этом необходимо соблюдать пределы их применимости и обязательно контролировать результаты по данным опытно-фильтрационных работ.

Лабораторное определение водопроницаемости по данным опытных работ по фильтрации воды через образцы горных пород

осуществляется на специальных приборах (трубка Каменского, Спецгео, приборы Тима, Каменского, МГРИ, Гидропроекта КФЗ, ПВ и др.), с помощью которых определяется коэффициент фильтрации рыхлых и связных горных пород. Коэффициент проницаемости определяется с помощью приборов типа ГК-5, УИПК-1М, а также фильтровметров специальных конструкций [10, 11]. Прибор УИПК-1М позволяет проводить опыты при различных значениях давлений и температур.

Лабораторные методы наиболее простые и дешевые, поэтому они широко используются при массовых определениях фильтрационных свойств для получения сравнительных характеристик изучаемых объектов. Однако лабораторные определения менее достоверны, чем результаты полевых опытно-фильтрационных работ. Этот недостаток объясняется следующими причинами: 1) определения ведутся на отдельных образцах (точечно), что не обеспечивает значительной их представительности; 2) неизбежно нарушается структура образцов при их отборе (даже в связных породах); 3) несовершенством конструкций применяемых для опытов приборов; 4) условия фильтрации при опыте могут отличаться от натуральных. Как показали специальные исследования и сопоставительные оценки точности определения фильтрационных характеристик лабораторными и полевыми методами, лабораторные определения оказываются, как правило, заниженными и их использование в расчетах возможно лишь при внесении поправок, учитывающих систематические ошибки лабораторных опытов. Такие поправки устанавливаются на основе сопоставления результатов полевых и лабораторных определений и выявления корреляционных связей между ними.

Таким образом, лабораторные определения водопроницаемости можно рассматривать как метод, обеспечивающий более обоснованную экстраполяцию и интерполяцию результатов полевых определений в пределах изучаемых территорий и позволяющий в определенной мере сокращать объемы более дорогих и трудоемких полевых опытно-фильтрационных работ за счет массового применения лабораторных методов исследований. Следует отметить также, что лабораторные определения удобны при изучении фильтрационных свойств небольших прослоев и линз горных пород, определении изменения коэффициента фильтрации под влиянием нагрузок или в зависимости от направления движения фильтрующейся воды, степени ее минерализации и температур.

Коэффициенты пьезопроводности и уровнепроводности нередко определяют расчетным путем, используя результаты лабораторного изучения фильтрационных и упругих свойств пласта и жидкости, а также водоотдачи горных пород.

Коэффициенты упругого сжатия, характеризующие способность пород и воды изменять свой объем под влиянием изменения давления (напора), определяются в приборах типа стабилметров, позволяющих осуществлять всестороннее сжатие образца породы

или воды. Наиболее распространенные значения коэффициентов сжимаемости для воды — $\beta_v = (2,7 \div 5) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$, для горных пород — $\beta_n = (0,3 \div 2,0) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$.

При известных значениях K , β_v , β_n и пористости n величину коэффициента пьезопроводности определяют по формуле

$$a^* = \frac{K_n}{\eta (\pi \beta_v + \beta_n)} = \frac{K}{\gamma (\pi \beta_v + \beta_n)} = \frac{K}{\gamma \beta^*} = \frac{T}{\mu^*}, \quad (\text{VI.4})$$

где $\beta^* = n\beta_v + \beta_n$ — коэффициент упругости пласта; μ^* — упругая водоотдача, характеризующая способность напорного пласта отдавать воду в условиях упругого режима.

Для безнапорных водоносных горизонтов по аналогии с (VI.4) коэффициент урвнепроводности a определяется по значению водопроводимости T и гравитационной водоотдачи μ :

$$a = \frac{T}{\mu} = \frac{Kh_{\text{ср}}}{\mu}, \quad (\text{VI.5})$$

где $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность изучаемого водоносного горизонта. Наиболее надежные значения коэффициентов пьезо- и урвнепроводности получают по результатам кустовых откачек (см. гл. IV, § 2).

§ 2. Лабораторное изучение физических свойств, химического, газового и бактериологического составов вод

Работы по изучению и оценке физических свойств, химического (в том числе и газового) и бактериологического составов подземных вод выполняются на всех стадиях гидрогеологических исследований. Состав и объемы лабораторных исследований зависят от целевого назначения, характера и стадии выполняемых гидрогеологических исследований. Основная цель таких исследований — изучение физических свойств, химического, газового и бактериологического составов подземных вод — обеспечивается проведением в полевых и стационарных условиях соответствующего комплекса лабораторных анализов (полевых, сокращенных, полных, бактериологических, специальных) и отдельных определений. Комплекс лабораторных исследований должен обеспечить успешное решение задач по выявлению и изучению закономерностей формирования и распространения подземных вод различного состава, всестороннюю оценку качества различных типов подземных вод и возможностей их использования в народном хозяйстве, оценку возможного отрицательного влияния подземных вод на различные инженерные сооружения и оборудование, на условия строительства и мелиоративное состояние земель, выявление и оценку перспектив изучаемой территории на различные виды полезных ископаемых и решение других задач гидрогеохимических построений (см. гл. VIII, § 3).

Основными объектами лабораторных исследований являются подземные воды всех изучаемых при поисково-разведочных работах гидрогеологических объектов (водоносных пластов, горизонтов, комплексов). Отбор проб воды из этих объектов осуществляется при гидрогеологическом обследовании и опробовании естественных и искусственных водопроявлений (мочажин, источников, скважин, колодцев, шурфов, ручьев и др.) в процессе съемочных работ, при пробных, опытных и опытно-эксплуатационных откачках, временных и стационарных режимных наблюдениях. Дополнительными объектами лабораторного изучения могут быть подземные воды смежных с изучаемыми водоносных горизонтов (комплексов), почвенные вытяжки, поровые растворы, воды поверхностных водотоков и водоемов, атмосферные осадки.

Физические свойства воды. При изучении проб воды (нередко непосредственно в полевых условиях) в первую очередь устанавливаются физические свойства вод изучаемого объекта, к которым относятся: температура, прозрачность, мутность, осадок, цвет, запах, вкус и привкус, плотность. При необходимости дополнительно определяются сжимаемость, вязкость, электропроводность, и радиоактивность воды.

Температура воды замеряется с помощью родниковых и ленивых термометров, электротермометров и термоэлементов непосредственно в источниках, колодцах, скважинах. Прозрачность, мутность, осадок, цвет, запах, вкус и привкус определяются с помощью простейших приспособлений, стандартных шкал и органов обоняния общеизвестными методами [9, 10]. Плотность ориентировочно определяют с помощью ареометра, точно — с помощью пикнометра. Результаты определения плотности выражаются в виде отношения массы исследуемой воды при данной температуре к массе равного объема дистиллированной воды при той же температуре или температуре 4°C.

Сжимаемость воды, характеризуемая коэффициентом упругого сжатия β_v , определяется в специальных приборах типа стабилометров. Необходимость в ее определении возникает при оценке упругости пласта и коэффициента пьезопроводности расчетным методом.

Необходимость в определении вязкости воды, характеризуемой коэффициентами динамической η и кинематической вязкости ν , возникает при изучении вод глубоких структурных горизонтов, имеющих переменный состав (плотность и вязкость). Вязкость определяется специальными приборами — вискозиметрами, позволяющими осуществлять измерения в условиях, близких к пластовым. Ориентировочно она определяется по специальным графикам и номограммам в зависимости от температуры воды и количества растворенных в ней солей [10].

Электропроводность воды, характеризуемая удельным электрическим сопротивлением, измеряется с помощью специальной двухконтактной установки при частоте питающего тока

1000 Гц. Этот показатель изменяется для подземных вод от 0,02 до 1 Ом·м и используется для соответствующей интерпретации каротажных диаграмм.

Химический и газовый состав воды. Природные воды являются растворами сложного состава, содержащими значительное количество химических элементов в виде ионов, недиссоциированных молекул (в том числе газов) и коллоидов. По данным многочисленных химических анализов в природных водах установлено более 60 элементов (гидрогенические элементы), однако большинство их присутствует в очень незначительных количествах [9]. В связи с этим при анализе химического состава подземных вод обычно выделяют *макрокомпоненты*, встречаемые в природных водах в относительно повышенных концентрациях, и *микрокомпоненты*, содержание которых в воде обычно незначительно. Макрокомпоненты обуславливают в основном минерализацию подземных вод, их плотность, физические свойства и химический состав, в связи с чем они подлежат определению почти при всех видах химических анализов. Среди макрокомпонентов обычно определяют Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (региональные макрокомпоненты, присутствующие во многих типах вод), а также органические вещества, соединения азота (главным образом, нитрат-ион NO_3^-), кремниевая кислота, Fe и Al, присутствующие в отдельных типах вод и относящиеся к локальным макрокомпонентам. Микрокомпоненты (кроме некоторых токсических) определяются при полных химических анализах воды и при специальных гидрогеохимических исследованиях.

К числу важнейших показателей, определяющих состояние и многие свойства воды, относятся показатель *концентрации водородных ионов* pH и *окислительно-восстановительный потенциал* Eh. pH определяется при всех видах лабораторных исследований с помощью универсальных индикаторов, стеклянных электродов и другими методами. Окислительно-восстановительный потенциал Eh определяется при специальных гидрогеохимических исследованиях (предпочтительнее непосредственно у объекта опробования) для выявления условий миграции отдельных микрокомпонентов [9, 10].

В результате изучения химического и газового состава подземных вод устанавливаются такие важные их показатели, как минерализация (сухой остаток), жесткость, щелочность, агрессивность воды по отношению к бетону и металлам (углекислотная, выщелачивания, общекислотная, сульфатная, магниевая, кислородная), окисляемость, галогенопоглощение, содержание нефтепродуктов, фенолов, токсических элементов и некоторые другие, которые необходимы при оценке качества воды для народнохозяйственного использования в различных отраслях [1, 2, 9, 10].

Типы химических анализов воды при гидрогеологических исследованиях. Для изучения физических свойств, химического и газового состава подземных вод в процессе гидрогеологических

исследований выполняются полевые, сокращенные, полные и специальные анализы, различающиеся условиями выполнения, количеством и точностью определений.

Полевые, сокращенные и полные типы анализов применяются для изучения и общей характеристики состава и свойств подземных вод. Специальные анализы (спектральные, экстракционно-колориметрические, полярографические, газовые, радиохимические, изотопные и др.) выполняются при специальных гидрохимических исследованиях и оценке качества промышленных и минеральных вод.

Полевой анализ проводится в полевых условиях с помощью полевых гидрохимических лабораторий (типа ПЛАВ, МЛАВ и др.) при массовых определениях для предварительной характеристики вод района (при поисково-съемочных работах). Он включает определение физических свойств, pH, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , CO_2 , H_2S , O_2 , вычисление $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} или Ca^{2+} , карбонатной жесткости, общей минерализации.

Сокращенный анализ выполняется более точными методами в стационарных лабораториях. Дополнительно к полевому он включает определение Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- , H_2SiO_3 , окисляемости, сухого остатка, CO_2 агрессивной, общей жесткости. При сокращенном анализе обеспечивается контроль анализа по сухому остатку, поэтому он используется при изучении подземных вод на стадиях поисков (для контроля полевых анализов) и предварительной разведки.

Полные анализы проводятся для детальной характеристики подземных вод изучаемых объектов (обычно на детальной, реже на предварительной стадиях разведки). Они включают экспериментальное определение всех макрокомпонентов, выполняются более точными методами и обеспечивают проведение контроля определений по сухому остатку и по суммам миллиграмм-эквивалентов катионов и анионов.

При специальных гидрогеологических и гидрохимических исследованиях (оценка перспектив территории на обнаружение минеральных и промышленных вод, нефти, газа и других месторождений) необходимы определения состава спонтанных и растворенных газов (H_2S , CO_2 , O_2 , CH_4 , N_2 , $\text{Ar} + \text{Kr} + \text{Xe}$, $\text{He} + \text{Ne}$, тяжелые углеводороды), органических веществ, а также комплекса микрокомпонентов, образующих водные ореолы рассеяния (см. гл. VIII, § 3).

Результаты всех химических анализов выражаются в ионной форме (содержание определяемых ионов в мг/л), являющейся исходной для всех определений. Для получения более полного представления о химическом составе изучаемых вод и сопоставления анализов используются миллиграмм-эквивалентная и процент-эквивалентная формы выражения результатов анализа [4—6, 9—10].

Бактериологический состав подземных вод. Бактериологические исследования воды проводятся с целью санитарной оценки возможных источников водоснабжения, установления мероприятий по обеззараживанию воды и решения некоторых других специфических задач (бактериальная разведка на нефть и газ, оценка интенсивности биохимических процессов и др.).

Санитарное состояние воды, определяемое ее фекальной загрязненностью, контролируется и оценивается по косвенным показателям: по степени общего бактериального загрязнения (определяется общим количеством бактерий в 1 мл исследуемой воды) и по содержанию в воде бактерий группы кишечной палочки (определяется количеством кишечных палочек в 1 л воды — коли-индексом или объемом воды, приходящимся на одну кишечную палочку — колититром). Согласно ГОСТ 2874—82 общее число микроорганизмов в 1 см³ воды хозяйственно-питьевого назначения не должно превышать 100, коли-индекс не более трех. При несоответствии санитарного качества воды указанным требованиям она подлежит обеззараживанию.

Количество проб, отбираемых на бактериологический анализ, устанавливается по согласованию с органами Госсанинспекции. При детальной разведке месторождений подземных вод и оценке их эксплуатационных запасов для водоснабжения пробы на бактериологический анализ должны отбираться из всех водопунктов, используемых при подсчете запасов.

§ 3. Вопросы методики отбора проб воды для лабораторных исследований и оценка качества подземных вод

Одним из важнейших вопросов методики отбора проб является обеспечение их представительности. Положительное решение этого вопроса предполагает, что места отбора проб, их количество, условия и время обеспечивают достоверное изучение закономерностей изменения химического состава опробуемых объектов и исключают влияние различного рода естественных и искусственных факторов, существенных искажений и погрешностей либо обеспечивают возможность проведения оценки и учета этих факторов. В значительной степени представительность каждой отдельной пробы и их совокупности зависит от соблюдения установленных правил отбора проб воды и газа, обеспечения их по объемам, соблюдения условий консервации проб, их транспортировки, хранения, а также методов определения отдельных показателей и компонентов. Такого рода правила установлены для всех основных видов химических анализов и определений и отражены в соответствующих государственных стандартах, инструкциях и технических условиях [1, 8]. Контроль результатов анализов и определений должен осуществляться в соответствии с действующими ин-

струкциями по внутрилабораторному контролю качества химических и других видов анализов и определений.

Определенная специфика отбора проб воды соблюдается при опробовании минеральных, промышленных и термальных подземных вод, при опробовании источников и скважин, при отборе проб газа, газифицированных вод и специфических видах опробования (бактериологический, радиохимический, изотопный, микрокомпонентный и другие виды анализов) [см. 1].

При отборе проб воды должны быть соблюдены условия, исключающие влияние элементов случайности: химическая чистота посуды, сохранность естественного солевого и газового состава воды, недопустимость застойности и загрязнения воды при отборе, достаточный объем пробы (0,5—1 л воды на полевой и сокращенный анализы, 1—2 л на полный и специальные), недопустимость смешения вод различных водоносных горизонтов, соответствующая консервация и регистрация проб и т. п. Выполнение всех анализов и определений должно осуществляться в короткий срок после отбора проб, а при возможности — на месте их отбора.

Пробы воды из источников, колодцев и открытых водоемов при небольшой их глубине отбираются непосредственно в бутылки с соблюдением соответствующих предосторожностей. При глубине отбора проб до 12—15 м можно использовать псевдобатометр Верещагина. Из более глубоких скважин вода отбирается на изливе (при откачках), с помощью желонки, приборов (прибор Симонова, водоносы ГГП-19, ГГП-20 и др.), специальных пробоотборников (ППБ, ПВ, ПГ, ПЭ и др.), испытательных снарядов и инструментов.

Пробы газа отбираются с помощью газоотводных трубок, воронок, газоотделителей и пробоотборников специальных конструкций (ППБ, ПГ, ПРИЗ, ПД-3 и др.).

Для изучения изменений химического и бактериального состава воды или подтверждения их неизменности во времени необходимо выполнять периодические контрольные определения, частота которых устанавливается с учетом конкретных условий изучаемых объектов.

Оценка качества подземных вод, предполагаемых для народнохозяйственного использования, осуществляется на основе сопоставления требований, предъявляемых соответствующими потребителями к качеству воды, и результатов лабораторного изучения подземных вод. Требования предъявляются к физическим свойствам, химическому и бактериологическому составу воды и зависят в основном от характера использования воды в народном хозяйстве или объекта ее отрицательного воздействия (хозяйственно-питьевое, производственно-техническое, лечебно-питьевое, горячее водоснабжение, орошение, извлечение солей и ценных для промышленности компонентов, горно-техническое строительство и т. п.), особенностей технологии водопотребляющих предприятий, условий водоснабжения и других факторов. Требования, предъявляемые к

качеству воды, чрезвычайно разнообразны и могут изменяться во времени (изменение или совершенствование технологии работы предприятия, изменение кондиционных требований на промышленные, минеральные и термальные воды и т. д.).

При разрешении каждого конкретного задания для качественной оценки подземных вод руководствуются требованиями, установленными соответствующими ГОСТами, различными ведомственными нормами, техническими условиями, правилами, кондиционными требованиями [1, 2, 8, 10].

При оценке подземных вод как источников хозяйственно-питьевого водоснабжения руководствуются требованиями ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством». В соответствии с ним питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Число микроорганизмов в 1 мл воды не должно превышать 100, а коли-индекс — трех. Содержание веществ, влияющих на органолептические свойства воды, лимитируется следующими показателями (в мг/л): хлориды (Cl^-) — 350, сульфаты (SO_4^{2-}) — 500, железо (Fe^{2+} , Fe^{3+}) — 0,3, марганец (Mn^{2+}) — 0,1, медь (Cu^{2+}) — 1,0, цинк (Zn^{2+}) — 5,0, полифосфаты остаточные (PO_4^{3-}) — 3,5, сухой остаток — 1000, pH должно быть в пределах 6—9, жесткость общая — до 7 мг-экв/л (для систем без обработки воды допустимы: минерализация — до 1500 мг/л, жесткость общая — до 10 мг-экв/л, содержание железа — до 1 мг/л, марганца — до 0,5 мг/л). Содержание токсичных элементов (в мг/л) должно быть не более следующих значений: остаточный алюминий (Al^{3+}) — 0,5, бериллий (Be^{2+}) — 0,0002, полиакриламид остаточный — 2,0, молибден (Mo^{2+}) — 0,25, мышьяк ($\text{As}^{3+} + \text{As}^{5+}$) — 0,05, нитраты (NO_3) — 45,0, свинец (Pb^{2+}) — 0,03, селен (Se^{6+}) — 0,001, стронций (Sr^{2+}) — 7,0, фтор (F^-) — $0,7 \div 1,5$, уран природный (U) и ^{238}U — 1,7. Предельное содержание радия — 226 (^{226}Ra) и стронция — 90 (^{90}Sr) в Ки/л соответственно должно быть не более $1,2 \cdot 10^{-10}$ и $4 \cdot 10^{-10}$.

Органолептические свойства должны соответствовать следующим требованиям: запах (при 20°C и при нагревании до 60°C) не более 2 баллов, привкус при 20°C не более 2 баллов, цветность не более 20°, мутность по стандартной шкале не более 1,5 мг/л, запах и привкус при хлорировании не более 1 балла.

Требования к качеству минеральных подземных вод устанавливаются соответствующими ГОСТами [2], а к качеству промышленных и термальных подземных вод определяются и уточняются при обосновании кондиций [10].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В современных условиях при громадных масштабах гидротехнического, мелиоративного, промышленного и других видов строительства, при неуклонном росте потребления минерально-сырьевых, водных и других природных ресурсов, в условиях интенсивного влияния различных сфер инженерной деятельности человека на природу и состояние ее ресурсов все более и более возрастают требования к эффективности и результативности гидрогеологических исследований, к качеству и достоверности получаемой при этом исходной информации, к надежности и обоснованности выполняемых на основе изысканий оценок, рекомендаций, проектных решений и инженерных прогнозов.

Обеспечение успешного выполнения этих требований во многом зависит от активного развития и внедрения в гидрогеологическую практику новых методов изучения подземных вод, от их обоснованного и эффективного сочетания с традиционными методами гидрогеологических исследований, от степени раскрытия и использования возможностей каждого из применяемых методов.

Одним из таких новых и перспективных методов гидрогеологических исследований является моделирование фильтрации подземных вод.

§ 1. Моделирование как метод гидрогеологических исследований

Под моделированием в гидрогеологии понимается искусственное воспроизведение на различных моделях процессов фильтрации подземных вод и связанных с ними явлений в целях обеспечения эффективного решения различных гидрогеологических задач.

В практике гидрогеологических исследований применяется главным образом математическое моделирование, основанное на использовании математической аналогии процессов, различных по своей физической сущности, но описываемых одинаковыми дифференциальными уравнениями. Это дает основание вместо процесса фильтрации рассматривать на модели какой-либо другой процесс, подчиняющийся тем же уравнениям, что и движение подземных вод. Физическое моделирование (с сохранением на модели физической природы фильтрации) практикуется гораздо реже.

Как метод количественной оценки условий движения подземных вод моделирование применяется в гидрогеологии длительное время и детально рассматривается в курсах «Динамика подземных вод» и «Моделирование гидрогеологических процессов» [2, 4—7, 9—10]. В настоящее время моделирование получает все большее признание и практическое применение при решении са-

мых разнообразных гидрогеологических задач, в том числе и как новый, перспективный и экономически эффективный метод гидрогеологических исследований.

Моделирование дает возможность при изучении гидрогеологических объектов и составлении инженерных прогнозов полнее учитывать многообразие природной обстановки, оценивать влияние разнообразных факторов и процессов, повышать качество и достоверность получаемой при исследованиях информации, давать более обоснованные прогнозы условий работы инженерных сооружений и направленности гидрогеологических процессов и явлений, определять степень точности и достоверности других расчетных методов.

Сейчас можно считать обязательным применение моделирования для гидрогеологических исследований на достаточно крупных объектах, особенно при обосновании проектирования водозаборных и дренажных сооружений, крупных осушительных и оросительных систем, при региональном изучении территорий в целях оценки эксплуатационных запасов подземных вод и их режима, при изучении и оценке сложных гидрогеологических условий, обосновании мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод и т. п. Опыт применения моделирования для решения конкретных гидрогеологических задач освещен в работах [1—6 и др.].

Однако применение моделирования не ограничивается и не должно ограничиваться рамками конкретных гидродинамических расчетов и прогнозов, выполняемых при решении гидрогеологических задач. Моделирование надо рассматривать как научный метод исследования, изучения и оценки различных гидрогеологических процессов и явлений, условий формирования, распространения и движения подземных вод, их гидродинамических и гидрогеохимических особенностей, накопления и изменения их ресурсов под влиянием различных естественных и искусственных факторов.

Моделирование позволяет учесть влияние этих многочисленных факторов при анализе и прогнозе гидрогеологических явлений и процессов, выработать действенные меры по управлению этими процессами и явлениями в нужном для человека направлении, ускорять и совершенствовать методы гидрогеологических исследований, рекомендовать наиболее оптимальные варианты различных инженерных сооружений, а также способствовать решению многих задач теоретической гидрогеологии. В сложных гидрогеологических условиях моделирование используется не только для количественной оценки условий движения подземных вод. Оно обеспечивает также возможность более глубокого изучения и познания геологигидрогеологических особенностей объекта, внесения корректив в объемы, виды, направленность и методику проведения гидрогеологических исследований. При этом изучение особенностей и проявлений гидрогеологического объекта осуществляется

на определенным образом построенной и соответствующей ему модели, степень обоснованности и достоверности которой может оцениваться и повышаться в процессе моделирования.

Суть и характер моделирования как метода гидрогеологических исследований хорошо видны из рассмотрения процесса осуществления гидрогеологического моделирования, который складывается из следующих последовательно выполняемых этапов:

1. Анализ природных условий и исходных материалов, выделение гидрогеологического объекта, схематизация гидрогеологических условий и составление природной гидрогеологической схемы области фильтрации с количественной оценкой принятых допущений и обоснованием необходимости учета тех или иных факторов.

2. Выбор, расчет и построение фильтрационной модели изучаемого объекта.

3. Оценка степени соответствия (адекватности) построенной модели изучаемому объекту (с помощью решения комплекса обратных задач, фрагментного моделирования и факторно-диапазонных оценок с использованием материалов выполненных исследований).

4. Выбор и обоснование способов и методики моделирования, набор задачи на моделирующем устройстве и ее решение (по одному или нескольким вариантам).

5. Пересчет полученных результатов с модели на натуру с использованием соответствующих масштабных коэффициентов и обработка полученных результатов.

Для построения модели функционально отображающей природную гидрогеологическую обстановку и учитывающей влияние всех воздействующих на условия фильтрации факторов, необходимо располагать определенными данными о размерах области фильтрации, ее строении и гидрогеологических параметрах, границах и действующих на них граничных условиях и других определяющих особенности изучаемого объекта факторах. Сам процесс сбора, обобщения, анализа и осмысления исходного материала и результатов гидрогеологических исследований при моделировании является более целенаправленным и содержательным, так как моделирование требует установления свойственных изучаемому объекту границ, граничных условий, распределения параметров и другой информации по всей области фильтрации. Использование моделирования в гидрогеологических исследованиях имеет большое психологическое значение, поскольку разработка и построение модели требуют от исследователя четкого представления о природной фильтрационной схеме и ее особенностях, в то время как применение аналитических и гидравлических методов расчета позволяет рассматривать фильтрационную схему в более завуалированном виде.

От степени соответствия построенной фильтрационной модели реальной фильтрационной схеме объекта и учета всех факторов,

определяющих условия движения подземных вод, зависят однозначность, надежность и эффективность решения любой гидрогеологической задачи.

Методологической базой гидрогеологического моделирования (как и любых других гидрогеологических исследований) следует считать общие принципы гидрогеологических исследований (см. гл. 1 § 2), главным следствием которых является адаптационный подход к обоснованию расчетной схемы и соответственно к построению ее модели. Адаптация модели происходит непрерывно и постепенно в соответствии с принципом последовательных приближений по мере роста объема гидрогеологической информации об изучаемом объекте и на основе использования принципа обратной связи. Использование обратных связей, присущих реальному объекту его построенной модели, позволяет осуществлять корректировку сведений о реальном объекте и его свойствах и проверять степень тождественности модели и объекта. При этом совершенствование модели, ее обновление, перестройка, а также обоснование ее адекватности объекту осуществляются как в соответствии с новой, получаемой в результате изысканий информацией, так и за счет изучения и познания объекта через посредство самой модели на основе решения обратных задач, факторно-диапазонной оценки чувствительности и качества построенной модели, изучения ее реакций и т. д. Обученная таким образом и проверенная на решении эпигнозных задач модель используется затем для решения прогностических задач, а также для корректировки и проведения дальнейших гидрогеологических исследований [2, 7, 9].

Таким образом, сам процесс составления гидрогеологических моделей дает возможность более глубокого познания гидрогеологических объектов, их сущности и свойств, закономерностей их поведения, степени влияния на них различных естественных и искусственных факторов и повышения на этой основе целенаправленности, действенности и эффективности выполняемых исследований. Все сказанное еще более справедливо по отношению к так называемому «разведочному моделированию», выполняемому на различных стадиях поисков и разведки месторождений подземных вод, когда адаптация модели осуществляется от стадии к стадии по мере получения и обработки новой информации об изучаемом объекте и решения различных имитационных и обратных задач, и когда модель используется не только для изучения объекта и выполнения прогнозов, но и для оценки направленности дальнейших исследований, обоснования целесообразных объемов и методов их выполнения, т. е. для управления процессом гидрогеологических исследований. В принципе такое моделирование может завершиться созданием постоянно действующей модели, что целесообразно для особо сложных гидрогеологических систем (комплексов, бассейнов) и что уже начинает претворяться в жизнь [2, 6, 8].

Следует иметь в виду, что процесс предварительной обработки исходных данных для моделирования и само моделирование обычно более трудоемки, чем решение задач аналитическими методами, поэтому моделирование целесообразно применять для решения задач, не имеющих достоверных аналитических методов расчета, либо в том случае, когда оно обеспечивает повышение экономической эффективности намеченных к проведению исследований. В обобщенном виде могут быть рекомендованы следующие основные направления применения моделирования как современного метода гидрогеологических исследований [2—9].

1. Изучение современных гидрогеологических условий территорий по материалам региональных исследований и изысканий с региональной оценкой эксплуатационных запасов подземных вод и обоснованием схем их рационального и комплексного народнохозяйственного использования и охраны от истощения и загрязнения.

2. Составление инженерных прогнозов в сложных гидрогеологических условиях на различных стадиях изысканий и проектирования крупных инженерных сооружений (водозаборов, систем орошения, осушения и дренажа, водохранилищ, каналов, систем захоронения промстоков и др.).

3. Изучение условий формирования сложных водонапорных систем земной коры и месторождений подземных вод, включая проблемы динамики палеогидрогеологии и гидрогеохимии.

4. Решение задач оптимизации при обосновании проектирования инженерных сооружений в сложных гидрогеологических условиях.

5. Изучение особенностей и закономерностей развития сложных гидрогеологических явлений и процессов с учетом изменения агрегатного состояния воды и степени ее свободы.

6. Обработка получаемой в процессе исследований гидрогеологической информации с целью определения и уточнения расчетных гидрогеологических параметров, элементов водного баланса и фильтрационных схем, корректировки проведения разведочных работ и решения других гидрогеологических задач.

7. Моделирование гидрогеологических исследований и управление на этой основе процессами их организации, оптимизации и проведения.

8. Создание постоянно действующих моделей особо сложных гидрогеологических систем в целях управления процессом гидрогеологических исследований, регулирование водохозяйственной деятельности и обеспечения условий рационального использования и охраны водных ресурсов. Вид, содержание и методика моделирования, требования к исходной информации и методам ее получения, масштабы моделирования и приемы обоснования достоверности прогнозов определяются стадией исследований, сложностью природных условий, степенью их изученности, заданной точностью и типом решаемых задач.

§ 2. Типы гидрогеологических задач, решаемых с применением моделирования

С помощью моделирования решаются прямые, обратные и обобщенные задачи фильтрации подземных вод.

Решение *прямых задач* сводится к определению отдельных гидродинамических элементов потока (напоров, расходов, скоростей движения) при конкретных начальных и граничных условиях и параметрах потока, заданных на модели как в естественных условиях, так и при учете воздействия инженерных сооружений. В большинстве своем эти задачи связаны с прогнозом условий фильтрации при проектировании конкретных объектов (прогнозы подпора в районах создания водохранилищ и подъема уровня грунтовых вод на массивах орошения, эффективности работы дренажных систем, водопонизительных установок и водозаборов подземных вод прогнозы загрязнений и т. п.) и в зависимости от сложности гидрогеологических условий они могут быть одномерными, двумерными и значительно реже — пространственными.

Решение *обратных задач* заключается в определении и уточнении фильтрационных характеристик или граничных условий потоков по данным о распределении их напоров и расходов. Такие задачи обычно решаются подбором до получения приемлемого совпадения распределения напоров (или расходов) с наблюдаемыми в природных условиях. На практике с помощью решения обратных задач определяют значения коэффициентов фильтрации, водоотдачи, пьезо- или уровнепроводности, оценивают величины инфильтрационного или глубинного питания, степень и характер гидравлической связи подземных и поверхностных вод и другие показатели.

Таким образом, решение обратных задач при моделировании используется как метод более полного изучения гидрогеологических особенностей объекта и вместе с тем как метод оценки достоверности построенной модели, степени ее соответствия природной фильтрационной схеме и надежности выполняемых на ее основе инженерных прогнозов. Обоснование достоверности построенной модели включает: 1) определение и уточнение параметров фильтрационной среды и обоснование их достоверности воспроизведением опытных откачек, эффекта действующих водозаборов и т. п.; 2) уточнение особенностей и строения фильтрационной схемы изучаемого объекта; 3) уточнение гидродинамической роли границ и действующих на них граничных условий; 4) определение элементов водного баланса или их уточнение; 5) построение фильтрационной модели и качественное обоснование ее достоверности; 6) количественную оценку точности и достоверности построенной модели и выполненных на ней прогнозов.

Обобщенные задачи решаются для получения общей характе-

ристики какого-либо фильтрационного процесса или с использованием безразмерных параметров или путем перебора всех возможных значений параметров, характерных для изучаемого процесса.

Цель таких решений — получение графических или аналитических зависимостей на основе статистической обработки и обобщения полученных решений.

В зависимости от размеров изучаемого объекта, степени изученности и сложности его гидрогеологических условий, типа решаемых задач и стадии осуществления исследований моделирование подразделяется по степени детальности (по И. К. Гавич) на обзорное, выполняемое в масштабах мельче 1:500 000, региональное — от 1:500 000 до 1:50 000 и детальное — крупнее 1:50 000.

Обзорное моделирование применяется при региональном гидрогеологическом изучении территории СССР в целях обоснования схем комплексного использования водных ресурсов, планирования водохозяйственных мероприятий, региональной оценки естественных и эксплуатационных ресурсов, изучения гидрогеологических особенностей артезианских бассейнов и других водонапорных систем.

Региональное моделирование используется при гидрогеологическом изучении отдельных крупных месторождений подземных вод, частей водонапорных систем, крупных инженерных сооружений и других объектов для оценки перспектив их промышленного освоения, определения эксплуатационных ресурсов, гидрогеологических характеристик и осуществления различных инженерных прогнозов.

При *детальном моделировании* решаются самые разнообразные гидрогеологические задачи по изучению и геолого-промышленной оценке месторождений подземных вод или их участков, осуществлению прогнозов и обоснованию проектирования на различных стадиях гидрогеологических исследований [1—10].

Как показывает опыт, моделирование как метод исследований и количественных оценок может эффективно использоваться при изучении и оценке месторождений подземных вод практически на всех стадиях их изучения, включая и исследования при эксплуатации. С помощью моделирования в зависимости от конкретных условий изучаемого объекта могут решаться различные частные задачи и в том числе корректировка видов и объемов дальнейших исследований. На предварительных стадиях моделирование играет роль своеобразной разведки объекта, многие черты и особенности которого еще не ясны. Имитируя на разведочных моделях возможные схемы строения области фильтрации и их разведку, исследуя влияние различных факторов и реакцию модели на их изменения, решая комплекс обратных задач и выполняя факторно-диапазонную оценку качества модели, представляется возможным осуществлять глубокое и всестороннее изучение объекта, выявлять особенности его строения, объем и состав необходимой

для эффективного решения поставленных задач гидрогеологической информации, целесообразные методы ее получения, корректировку видов, объемов и методики выполнения дальнейших гидрогеологических и других исследований.

Используя для моделирования полученные исходные данные, можно оценить влияние на условия работы проектируемого сооружения особенностей геологического и гидрогеологического строения объекта, его границ и граничных условий и, таким образом, установить, насколько достаточны имеющиеся данные для решения поставленных задач или насколько важны и необходимы дальнейшее изучение и оценка того или иного фактора.

По данным поисков и предварительной разведки представляется возможным: 1) уточнять или определять параметры основных водоносных горизонтов и разделяющих их глинистых толщ на основе выполненных опытных работ и данных стационарных наблюдений; 2) изучать закономерности изменения фильтрационных свойств пород путем построения схематических карт водопроводимости; 3) давать предварительную оценку общих гидрогеологических условий объекта с выделением ведущих и требующих дальнейшего изучения факторов и их предварительной количественной оценкой; 4) уточнять методику проведения опытно-фильтрационных работ на последующих стадиях исследований, воспроизводя их предварительно на модели; 5) корректировать виды и объемы работ, проектируемых для дальнейшего проведения (более рациональное размещение разведочных и наблюдательных скважин по площади объекта, определение мест проведения, длительности и интенсивности кустовых и групповых опытных откачек и т. д.); 6) выбирать участки для детальной разведки и осуществлять применительно к ним прогнозы условий работы проектируемых инженерных сооружений; 7) исходя из допустимых при прогнозе погрешностей оценивать влияние изменения местоположения границ пласта или характера граничных условий на величину погрешности, точность определения фильтрационных свойств и т. д., что дает возможность определять степень детальности дальнейших исследований на тех или иных участках объекта; 8) давать рекомендации по вариантам рационального размещения проектируемых инженерных сооружений.

Аналогичного типа задачи, но при большей обоснованности фактическим материалам и более значительном их ассортименте могут решаться на стадии детальной разведки, где основное внимание уделяется обеспечению осуществления обоснованного инженерного прогноза в соответствии с целевым заданием решаемой народнохозяйственной задачи.

На стадии эксплуатационной разведки с помощью моделирования могут быть решены задачи, связанные с уточнением инженерного прогноза, обоснованием более рациональных условий эксплуатации инженерного сооружения (или объекта) и корректировкой видов, объемов и методики дальнейших исследований. Основой для

решения этих задач служат данные опыта эксплуатации инженерного сооружения и специальных наблюдений за режимом подземных вод.

Полнота исследования, разрешающая способность и экономическая эффективность решения задач моделированием существенно повышаются при совместном (полном или частичном) использовании аналоговых вычислительных машин (АВМ) и электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ), т. е. при использовании аналогово-цифровых вычислительных комплексов (АЦВК). Такое комплексирование аналоговых моделирующих устройств с ЭЦВМ позволяет полностью (или частично) автоматизировать моделирование, обеспечить его эффективное математическое обслуживание, сохранив все преимущества аналогового моделирования. Эффективность создания и использования гибридных вычислительных систем подтверждается опытом применения аналогово-цифровых вычислительных комплексов типа «Сатурн» [2, 6, 8].

В перспективе с помощью гибридных вычислительных систем будут создаваться постоянно функционирующие математические модели месторождений подземных вод и отдельных гидрогеологических регионов, на основе которых будет осуществляться оперативное прогнозирование, и управление разведкой и эксплуатацией подземных вод.

Математические модели отдельных объектов, записанные на технические носители информации (магнитные ленты, перфокарты и т. п.), могут вводиться в действие в любое время для решения поставленной задачи с помощью моделирования.

В результате по каждому гидрогеологическому региону может быть создана система моделей, начиная от обзорных и региональных и кончая моделями отдельных объектов (месторождений, участков, водозаборов). Такие системы моделей могут рассматриваться как основная часть автоматизированной системы управления (АСУ) изучением, оценкой и использованием ресурсов подземных вод.

В целом АСУ ресурсами подземных вод может быть представлена как комплекс, состоящий из следующих составных частей: 1) автоматизированная информационно-поисковая система данных поисково-разведочных работ и режима эксплуатации подземных вод; 2) специализированная система обработки исходной информации (построение карт, графиков, таблиц и т. д.); 3) система математических моделей природных гидрогеологических объектов, реализующая функции воспроизведения естественных и нарушенных природных условий и прогнозирования на их основе результатов различных воздействий на гидрогеологические условия объектов.

Таким образом, с помощью гибридных вычислительных систем может быть реализована основная часть автоматизированной системы управления ресурсами подземных вод — создание системы моделей природных гидрогеологических объектов.

§ 3. Требования к методике гидрогеологических исследований и исходным данным для моделирования

Эффективность моделирования как метода исследований, количественных оценок и инженерных прогнозов во многом определяется возможностью более полного учета сложных природных условий и комплекса влияющих на особенности фильтрации разнообразных факторов, повышения в процессе моделирования степени достоверности исходной информации и осуществляемых на ее основе инженерных оценок и прогнозов, корректировки на основе моделирования направленности и методики гидрогеологических исследований. Все эти особенности моделирования как метода исследований, а также специфика решения задач моделированием предъявляют определенные требования к качеству и количеству исходной информации, к видам и методике проведения гидрогеологических исследований [1—9]. Требования определяются стадией проведения изысканий, степенью изученности и сложности природных условий объекта, задачами выполняемых исследований и моделирования, методикой моделирования (типом моделирующего устройства и модели, приемами моделирования и т. д.).

В общем случае применение моделирования требует целенаправленного проведения полевых исследований и обеспечения несколько более полной и достоверной информации о всей области фильтрации и действующих в ее пределах факторах, особенно если в процессе моделирования предполагается решение обратных задач.

Особую важность представляют данные о внешних и внутренних границах области фильтрации и действующих на них граничных условиях, а также о параметрах и строении изучаемого объекта. В связи с этим при проведении изысканий следует предусматривать комплекс работ по выявлению границ области фильтрации, изучению их характера и свойственных им граничных условий (рекогносцировочные обследования, геофизические и гидрологические работы, стационарные наблюдения, опытно-фильтрационные работы и др.).

На первоначальных стадиях изучения объекта исходный материал должен обеспечить изучение с помощью моделирования общих гидрогеологических условий, выявление и оценку роли действующих факторов и основные направления в проведении дальнейших исследований.

Более высокие требования к количеству и качеству исходной информации предъявляются на стадиях детальной и эксплуатационной разведок, при обосновании проектирования и условий эксплуатации инженерных сооружений. Материал, предполагаемый к использованию при решении обратных задач, должен быть максимально достоверным, а надежность установления границ и граничных условий области фильтрации обоснована данными разведочных работ. Ниже приводится ориентировочный перечень необ-

ходимых информационных материалов (по И. К. Гавич) для решения задач моделированием на детальных стадиях изучения и геолого-промышленной оценки месторождений подземных вод [2, 3].

1. Геолого-литологическая, геоморфологическая и гидрогеологические карты и профили, желательны структурные карты с изолиниями мощностей основных комплексов, характеризующие геоструктурные и морфологические особенности территории, площадь, контуры и условия залегания развитых водоносных и относительно водоупорных пород, их литологические особенности и изменение их по площади и разрезу.

2. Характеристика интенсивности и глубины эрозионного вреза речной сети, данные по осадкам, режиму и питанию рек, величине речного стока, характеризующие особенности изменения уровня и расхода потока во времени на его внешних и внутренних границах, возможную величину и изменение инфильтрационного питания и испарения.

3. Данные опытно-фильтрационных и лабораторных работ, определяющие основные расчетные параметры и возможный диапазон их изменения (коэффициент фильтрации, водопроводимость, гравитационная и упругая водоотдача, уровне- или пьезопроводность, активная пористость).

При наличии достаточного материала расчетные параметры представляются в виде соответствующих карт, которые в процессе моделирования уточняются.

4. Карты гидро- или пьезоизогипс основного и гидравлически связанных с ним водоносных комплексов с отметками уровня воды во всех опорных точках, охватывающие площадь несколько большую, чем возможная зона влияния проектируемого сооружения, и характеризующие положение пьезометрической поверхности на ряд моментов времени.

5. Данные наблюдений за уровнем и расходами источников и действующих водозаборных скважин. Длительность периода наблюдений определяется в соответствии с выбранным методом обоснования достоверности модели. Данные представляются в виде специальных схем и графиков. Карты, отображающие условия питания подземных вод и восполнения их запасов, обычно строятся в процессе моделирования.

6. Карты минерализации подземных вод и гидрохимические профили, определяющие в совокупности с другой информацией данные, необходимые для прогноза возможного изменения гидрогеохимической обстановки в районе проектируемого сооружения.

7. Сведения, характеризующие условия работы действующих в районе исследований инженерных сооружений, а также все необходимые данные об объекте проектирования.

8. Данные кустовых и групповых откачек, обеспечивающие их воспроизведение при обосновании достоверности модели или от-

дельных ее элементов (сведения об изменении уровней в опорных точках во времени).

Получение перечисленных выше материалов возможно при широком использовании геофизических методов исследований, аэрофотосъемки, скоростных методов бурения и опробования скважин, например, применении экспресс-методов, выполнении мощных кустовых и групповых откачек, проведения в необходимых объемах гидрометрических, гидрологических, режимных и других работ.

Накопленный опыт использования моделирования в гидрогеологических исследованиях свидетельствует о том, что применение моделирования вносит определенные изменения и дополнения в методику их организации и проведения, которые следует учитывать при проектировании разведочных гидрогеологических работ [1—9]: 1) применение моделирования планируется, а проект гидрогеологических исследований должен содержать перечень намечаемых к решению моделированием задач с указанием возможных методов их решения и обоснования надежности выполняемых оценок и прогнозов; 2) намечаемые для использования при решении обратных задач опытно-фильтрационные работы и наблюдения следует проводить с учетом обеспечения ими исходной информации в достаточном количестве и соответствующем качестве; 3) при необходимости уточнения параметров, построения карт их распределения и обоснования достоверности модели проектом работ необходимо предусмотреть составление карт гидронизопьез по всем изучаемым и гидравлически связанным с ними водоносным горизонтам (при возможности на несколько моментов времени); 4) для установления характера границ области фильтрации и действующих на них граничных условий следует проводить комплекс дополнительных работ, обеспечивающих достоверное их определение и количественную оценку; 5) комплекс гидрогеологических и других исследований следует корректировать и выполнять в целях обеспечения успешного решения поставленных задач методом моделирования (достоверное обоснование фильтрационной схемы, однозначность решения обратных задач, надежность исходной информации). Только при правильной научно обоснованной его постановке, выполнении изложенных требований и творческом его применении моделирование может обеспечить надежное и эффективное решение поставленных гидрогеологических задач.

ГЛАВА VIII ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ, РАДИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ ВИДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время основная цель любых гидрогеологических исследований — обеспечение успешного научно обоснованного решения поставленных задач при минимальных затратах труда, времени и средств. Это требование, соответствующее одному из основных принципов геологоразведочного процесса — принципу наименьших

трудовых и материальных затрат, обеспечивается в каждом конкретном случае путем обоснованного выбора и осуществления наиболее рационального в рассматриваемых природных и экономических условиях комплекса гидрогеологических и других видов исследований (см. гл. I, § 2 и 3).

Геологическая и экономическая эффективность выполняемых исследований существенно повышается при разумном и обоснованном сочетании и правильной последовательности выполнения различных видов гидрогеологических, геофизических, гидрохимических, ядерно-физических и других исследований; при замене более дорогостоящих и длительных по времени проведения видов исследований более дешевыми и быстрыми методами без снижения или при допустимых пределах снижения достоверности получаемых результатов; при обеспечении взаимоконтроля результатов исследований различными методами и условий для интерполяции и экстраполяции результатов выполняемых в отдельных точках более достоверных и дорогостоящих видов исследований на всю изучаемую территорию; при более полном использовании разрешающей способности и возможностей каждого из видов применяемых исследований и т. д.

Необходимость комплексирования различных видов исследований, кроме того, определяется большой широтой и спецификой круга вопросов, которые приходится решать при гидрогеологическом изучении месторождений подземных вод. Достаточно убедительно это было показано при рассмотрении методики проведения гидрогеологических съемок (см. гл. II).

Наиболее благоприятные возможности для эффективного сочетания собственно гидрогеологических и вспомогательных методов исследований (аэрофотосъемка, индикационные наблюдения, геофизические методы исследований и др.) представляются на первоначальных этапах изучения (региональные и поисково-съемочные работы, предварительная разведка), когда эти исследования проводятся на значительных площадях, в массовом количестве и при более низких требованиях к их достоверности. Однако это не исключает возможности их эффективного использования и на последующих стадиях изучения и геолого-промышленной оценки подземных вод, тем более, что техника и методика специальных видов исследований непрерывно совершенствуются, а их разрешающая способность и эффективность применения возрастают.

§ 1. Геофизические методы при гидрогеологических исследованиях

Геофизические методы приобретают все большее значение при решении самых разнообразных гидрогеологических задач практически на всех стадиях проведения гидрогеологических исследований. Их относительная дешевизна, наличие серийно выпускаемой аппаратуры, простота и оперативность проведения исследований,

возможность повышения разрешающей способности и степени достоверности за счет комплексирования различных видов геофизических исследований между собой и с гидрогеологическими методами, высокая геологическая информативность и некоторые другие факторы предопределяют большие перспективы и высокую экономическую эффективность применения геофизических методов при гидрогеологических исследованиях. Широкое внедрение геофизических методов в практику поисково-разведочных гидрогеологических работ — один из реальных путей повышения их геологической и экономической эффективности, сокращения материальных, трудовых и временных затрат, повышения производительности труда.

Одним из основных условий, определяющих эффективность выполняемых исследований, особенно на стадии поисково-съёмочных работ, является опережающее проведение геофизических работ. Оно обеспечивает возможности корректировки объемов и более целенаправленного выполнения основных дорогостоящих видов исследований (поисково-разведочного бурения и опробования скважин). Это тем не менее не исключает возможности и необходимости проведения отдельных геофизических работ одновременно или после гидрогеологических.

Применение геофизических методов, как известно, основано на использовании естественных или искусственно создаваемых физических полей: магнитного и гравитационного полей Земли (магниторазведка и гравиразведка), естественных или искусственно создаваемых электромагнитных полей (электроразведка), полей упругих колебаний (сейсморазведка), термических полей (термометрия), полей ореолов рассеяния отдельных элементов (радиометрические и ядерно-физические методы). Изучение этих полей, выявление и интерпретация геофизических аномалий, предопределяемых особенностями геологического строения и гидрогеологических условий изучаемых объектов, как раз и являются той основой, на которой зиждется применение геофизических методов исследований в гидрогеологии.

В зависимости от условий применения выделяют *наземные геофизические исследования* (полевая геофизика) и *геофизические исследования в скважинах* (буровая геофизика). Наземные геофизические исследования (электроразведка, сейсморазведка, магниторазведка, гравиразведка и др.) имеют в основном площадной характер и используются главным образом при проведении поисково-съёмочных работ и изучении гидрогеологических условий месторождений подземных вод с поверхности.

Геофизические исследования в скважинах проводятся практически на всех стадиях изучения подземных вод, но преобладают на стадиях предварительной и детальной разведки и заключаются главным образом в осуществлении различных видов каротажных работ. Они используются для изучения и количественной оценки разреза скважин и обеспечивают наземные геофизические исследования основой для геологической привязки получаемых результа-

тов, а также параметрическими значениями физических свойств горных пород (для интерпретации результатов). В свою очередь наземные геофизические исследования обеспечивают обоснованную экстраполяцию гидрогеологических показателей, выявляемых в результате каротажа скважин.

Наземные геофизические методы. Наибольшее распространение в практике гидрогеологических исследований получили методы электроразведки, основанные на изучении естественных и искусственно создаваемых переменных и постоянных электромагнитных полей. Среди многочисленных методов электроразведки наиболее эффективными для решения гидрогеологических задач являются те, которые основаны на изучении полей постоянного тока: *вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электрическое профилирование (ЭП) и метод вызванной поляризации (ВП)*.

Методы ВЭЗ и ЭП позволяют на основе определения кажущегося сопротивления среды судить о литолого-петрографическом составе пород, их влажности, величине минерализации подземных вод, водно-физических свойствах пород, степени их трещиноватости и т. п. Количественная интерпретация данных ВЭЗ и ЭП осуществляется с помощью теоретически рассчитанных полеток, эмпирических зависимостей и корреляционных связей между измеряемыми геофизическими и определяемыми гидрогеологическими параметрами и другими способами [7, 10].

Основными гидрогеологическими задачами, при решении которых эффективно использование ВЭЗ и ЭП являются: 1) изучение глубины залегания кровли опорного электрического горизонта, который на разных участках может быть представлен водоупорными или хорошо фильтрующими образованиями — кристаллическими породами фундамента, дочетвертичными породами, перекрытыми чехлом наносов и т. п.; 2) определение глубины залегания и мощности горизонтов различных горных пород, слагающих геологический разрез, в том числе водоносных и водоупорных; 3) картирование и изучение тектонических нарушений и обводненных зон повышенной трещиноватости; 4) изучение литологических особенностей горных пород разреза; 5) определение минерализации подземных вод и засоленности почв и пород; 6) выделение участков, однородных по геологическому строению (районирование по удельному сопротивлению горных пород); 7) выявление водоупорных или, наоборот, хорошо фильтрующих горизонтов горных пород среди покровных образований; 8) определение глубины распространения открытой трещиноватости пород и мощности коры выветривания и др.

Метод вызванной поляризации (ВП) целесообразно использовать для решения следующих задач: 1) изучения глубины залегания и мощности водоносных и водоупорных горизонтов; 2) оценки общей минерализации подземных вод и засоленности пород зоны аэрации; 3) изучения проницаемости первого от поверхности водоносного горизонта и обоснования экстраполяции данных опытно-фильтраци-

онных работ; 4) определения литологических особенностей пород и литологического расчленения разреза песчано-глинистых отложений, особенно в условиях распространения пестрой минерализации подземных вод. Возможности использования метода ВП для решения гидрогеологических задач в процессе поисково-съемочных и разведочных работ существенно расширяются при комплексировании его с другими видами геофизических исследований [5, 10]. Глубинность исследований методом ВП не превышает 100 м.

Из других методов электроразведки, применяемых при гидрогеологических исследованиях, следует отметить *метод естественного электрического поля* (определение мест поглощения и выхода воды на дне водоемов, областей инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки подземных вод в рыхлых отложениях, таликов, направления и скорости движения подземных вод), *метод заряженного тела* (определение направления и скорости движения подземных вод), *метод частотного электромагнитного зондирования* (ЧЭМЗ) и *радиокомпараторный метод*.

Тесная связь сейсмических (упругих и поглощающих) свойств горных пород с их физико-механическими и водно-физическими свойствами предопределяет большие возможности и перспективы использования методов сейсморазведки, основанных на теории распространения упругих колебаний в различной геологической среде. Эти методы дают наиболее точные данные о положении границ пород различного состава и поэтому находят особенно широкое применение при изучении структурных особенностей территорий, расчленении разреза, выявлении зон тектонических нарушений и трещиноватости, определении глубин залегания грунтовых вод, мерзлых пород и физико-механических свойств горных пород. Ведущим методом сейсморазведки при решении гидрогеологических задач является *корреляционный метод преломленных волн* (КМПВ).

Гравиразведка, основанная на изучении естественного поля силы тяжести, позволяет судить о распределении в земной коре масс различной плотности и, следовательно, о геолого-тектоническом строении изучаемой площади. В соответствии с этим гравиразведка широко применяется при тектоническом районировании, при решении структурно-геологических задач и при поисково-разведочных работах на различные полезные ископаемые.

В гидрогеологии гравиразведка может использоваться при решении следующих задач: 1) гидрогеологическом районировании территорий и картировании складчатых структур; 2) изучении литолого-петрографического состава и плотности пород разреза; 3) изучении морфологии кровли кристаллических пород фундаментов, являющихся основанием для артезианских бассейнов, и глубины ее залегания; 4) выявлении карста, погребенных речных долин и зон повышенной трещиноватости; 5) изучении структурных особенностей площадей, сложенных карбонатными и другими образованиями.

Магниторазведка основана на изучении особенностей геомагнитного поля, обусловленных неодинаковой намагниченностью горных пород. Применение магниторазведки в гидрогеологических целях основано на том обстоятельстве, что многие горные породы, характеризующиеся хорошими водными свойствами, обладают очень низкими магнитными свойствами. Это прежде всего породы осадочного комплекса — пески, песчаники, известняки, доломиты и др., которые по магнитной восприимчивости заметно отличаются от изверженных образований.

Магниторазведка обычно применяется для решения следующих задач: 1) изучения геолого-тектонического строения районов, закрытых молодыми осадочными отложениями; 2) определения мощности отложений платформенного чехла и глубины залегания кристаллического фундамента; 3) изучения состава пород фундамента; 4) выявления тектонических нарушений, сбросов, даек, жил и других структурных элементов; 5) изучения основных направлений трещиноватости и карстовых проявлений.

Создание высокочувствительных протонных и квантовых магнитометров создает возможности использования магниторазведки при проведении крупномасштабных съемочных работ и при разведке месторождений подземных вод [5, 10].

В процессе гидрогеологических и геофизических работ часто находит применение радиометрия. Радиометрические методы разведки не относятся к геофизическим методам в собственном смысле этого слова, но часто сопровождают их, облегчая решение поставленных задач.

Фиксируя ореолы рассеяния радиоактивных элементов, содержащихся в горных породах, радиометрические методы разведки (гамма-съемка и эманационная съемка) помогают трассировать тектонические нарушения под чехлом рыхлых образований, прослеживать границы распространения горных пород различного литолого-петрографического состава, определять величину радиоактивности подземных вод, следить за направлением и скоростью их перемещения.

В последние годы интенсивно развивается новое научное направление, связанное с применением ядерных излучений для изучения водных и физических свойств горных пород (особенно осадочных), которое получило название ядерной геофизики. Наиболее разработанной пока является та область ядерной геофизики, которая относится к исследованию горных выработок (радиоиндикаторные и изотопные методы исследований), однако перспективы применения методов ядерной геофизики в гидрогеологии благоприятны [5, 7, 9, 10].

Все большую роль, особенно в процессе гидрогеологических исследований, приобретают геотермические измерения с дневной поверхности и в скважинах, основанные на изучении аномалий теплового поля Земли. В процессе работ обычно измеряют геотермический градиент, величина которого меняется обрат-

но пропорционально теплопроводности горных пород, а последняя, как правило, возрастает с увеличением плотности и уменьшением пористости пород. Геотермические измерения дают информацию о тепловом потоке, а также о породах и структурах, сквозь которые проходит этот тепловой поток.

Подземный водообмен оказывает чрезвычайно сильное влияние на тепловое поле земной коры. Это позволяет использовать геотермические измерения для изучения динамики и направления движения подземных вод. Очень часто задачей геотермических исследований является разведка термальных вод, в процессе которой определяют пути подъема термальных вод, направление движения воды и ее подземные «резервуры». Эти исследования проводят также с целью картирования водоносных тектонических нарушений, изучения процессов карстообразования и решения некоторых других вопросов [12].

Геофизические исследования в скважинах. Скважинные методы геофизических исследований (каротаж) являются обязательной составной частью гидрогеологических исследований и должны проводиться во всех скважинах. Они основаны на изучении тех же физических полей, что и наземные геофизические методы, с учетом влияния различных искусственных процессов и факторов, которые имеют место или могут быть вызваны при бурении скважин (взаимодействие бурового раствора с породами и подземными водами, гидравлическое возбуждение пласта, индикация подземных вод и т. п.). Каротаж проводят обычно в необсаженных, заполненных глинистым раствором или чистой водой скважинах (реже в сухих и обсаженных скважинах).

Наибольшее применение в практике исследований гидрогеологических скважин имеют методы электрокаротажа (*метод кажущегося сопротивления* — КС, *естественных потенциалов* — ПС, *боковых каротажных зондирований* — БКЗ, *резистивиметрия* — РК), радиоактивного каротажа (*гамма-каротаж* — ГК, *нейтронный гамма-каротаж* — НГК, *каротаж по методу изотопов* — МИ, *гамма-гамма-каротаж* — ГГК), расходометрического, акустического — АК и термометрического каротажей. Реже пока применяются *магнитный каротаж* (МК) и *волновой электромагнитный каротаж* (ВЭМК).

Применение указанного комплекса каротажных работ обеспечивает решение широкого круга вопросов, в том числе: 1) изучение геологического строения разрезов и детальное расчленение по литологическим особенностям пород; 2) выделение водоносных и водоупорных пластов и зон с определением их мощности; 3) оценка емкостных и фильтрационных свойств водоносных пород (пористости, пустотности, влажности, коэффициентов фильтрации и водопроводимости, статических напоров, скоростей фильтрации, действительных скоростей движения подземных вод); 4) изучение степени взаимосвязи водоносных пластов и зон; 5) оценка общей минерализации и температуры подземных вод.

Помимо этого комплекс каротажных работ проводится для оценки и контроля технического состояния гидрогеологических скважин и их соответствующей технологической подготовки (резистивиметрия, расходометрия, кавернометрия, гамма-каротаж, инклинометрия, фотокаротаж, дефектометрия, прострелочные работы и торпедирование), а результаты каротажа используются при интерпретации результатов наземных геофизических исследований.

Не следует думать, что применение одного из видов каротажа может обеспечить решение той или иной гидрогеологической задачи, даже если этот метод каротажа обладает большой разрешающей способностью. Сложные природные условия вместе с комплексом факторов искусственного характера во многих скважинах затрудняют получение однозначного ответа, и поэтому требуется применение комплекса геофизических методов, проведения в больших объемах параметрических геофизических наблюдений и установления соответствующих коррелятивных связей, обязательного прохождения контрольных буровых скважин для повышения надежности и контроля результатов геофизических работ.

Тем не менее геофизические исследования скважин следует рассматривать как важный, необходимый и достаточно эффективный комплекс работ и прежде всего в части их геологогидрогеологической документации и опробования. Во многих скважинах применение рационального для рассматриваемых условий комплекса геофизических методов позволяет переложить основную тяжесть по геологической и в значительной мере по гидрогеологической документации их разреза на каротажные работы и проходить скважины сплошным забоем с минимальным объемом отбора керна и оптимальным объемом опытно-фильтрационных работ.

Ниже кратко излагаются лишь некоторые вопросы рационального комплексирования геофизических методов при решении основных гидрогеологических задач в результате бурения и опробования скважин.

Более подробно пути дальнейшего эффективного внедрения геофизических методов в практику гидрогеологических исследований рассматриваются в специальных работах [2, 5, 7, 9], где анализируются возможности рационального комплексирования геофизических и гидрогеологических видов исследований для решения отдельных гидрогеологических задач, приводятся различные примеры и обобщается опыт применения геофизических исследований для решения гидрогеологических задач в различных природных условиях, дается оценка геологической и экономической эффективности выполняемых исследований.

Изучение геологического строения разрезов и их расчленение по литологическим особенностям осуществляется путем использования типовых геолого-каротажных разрезов, предварительно составленных на основе совместного анализа каротажных диаграмм и керна. Наиболее рациональным для этой цели является сочетание комплекса методов кажущегося со-

противления (КС), естественных и вызванных потенциалов (ПС и ВП), естественной гамма-активности (ГК). Дополнительно привлекаются методы гамма-гамма-каротажа (ГГК) и нейтронного гамма-каротажа (НГК), особенно при изучении разрезов скальных пород. Вспомогательными, но весьма перспективными оказываются

также методы микрозондирования и повторных ПС (при изучении рыхло сцементированных разрезов).

Выявление обводненных и проницаемых пластов и зон с определением их эффективной мощности осуществляется различными комплексами методов в зависимости от состояния скважины и призабойной зоны. При бурении скважин с глинистым раствором используются методы, основанные на изучении результатов гидравлического и электрохимического взаимодействия бурового раствора с проницаемыми участками разреза. Это прежде всего метод электрокаротажа с двумя зондами, микрозондирование, различные модификации радиоактивного каротажа и метод повторного измерения ПС. Для примера на рис. 40 показана схема выделения водоносного пласта в

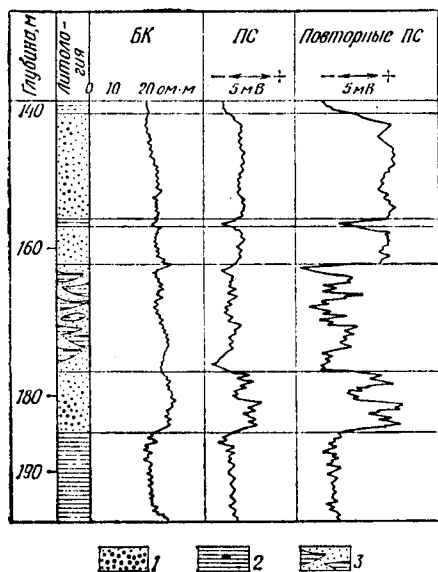


Рис. 40. Выделение водоносных пластов по данным метода повторных ПС:

1 — песок, 2 — глины, 3 — чередование песчаных и глинистых отложений

условиях сложного разреза, когда применение традиционных методов гидрогеологического расчленения разреза методами сопротивлений и ПС не дало положительных результатов, а повторное измерение ПС после засоления бурового раствора оказалось более эффективным.

Выделение проницаемых пластов по данным измерения естественных потенциалов (ПС) основано на измерении диффузионно-адсорбционной ЭДС, возникающей при наличии разности сопротивлений бурового раствора и пластовых вод (проницаемые песчаные пласты характеризуются меньшими ЭДС по сравнению с глинистыми слоями, и их можно выделять по диаграммам ПС). В рассматриваемом примере существенная разница в сопротивлениях бурового раствора и подземных вод песчаного пласта возникла лишь при подсолении первого, что и позволило уверенно выделить водоносный пласт по результатам повторного замера ПС.

Оценка емкостных и фильтрационных свойств водоносных пород — наиболее сложная задача. В настоящее время в нефтепромысловой и гидрогеологической практике в той или иной мере опробовано несколько десятков геофизических методов определения емкостных и коллекторских свойств пород. Подавляющее большинство из них относится к категории эмпирических, т. е. основанных на установлении корреляционных зависимостей между некоторыми геофизическими показателями (удельным электрическим сопротивлением, естественной и вызванной радиоактивностью и др.) и гидрогеологическими параметрами (общей и эффективной пористостью, трещиноватостью, коэффициентом и скоростью фильтрации), и справедливыми оказываются только для районов, в которых эти связи установлены. Наибольшее практическое применение эти способы находят при опробовании скважин, проходимых с глинистым раствором (электрокаротаж, микрозондирование, ПС, радиоактивный и акустический каротажи). Для определения направления и скорости движения подземных вод используются метод заряженного тела (при неглубоком залегании пресных вод), а также индикаторные методы, основанные на инъекции индикаторов и прослеживании различными способами направления и скорости их перемещения между скважинами или в окрестности ствола одной скважины (см. гл. IV, § 5).

Для оценки фильтрационных свойств обводненных пород устойчивых разрезов, при бурении которых используется чистая вода или гарантируется качественная разглинизация, перспективны методы резистивиметрии и расходомерии, имеющие теоретическое обоснование и не требующие выявления корреляционных зависимостей.

Метод резистивиметрии для послойной оценки фильтрационных свойств водоносных отложений имеет широкое практическое применение. Определение параметров основано на использовании зависимости скорости разбавления (опреснения) электролита, введенного в скважину, от фильтрационных свойств пород и проводится по формуле

$$v = \frac{3,62r_c}{\alpha(t_2 - t_1)} \lg \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \right), \quad (\text{VIII. 1})$$

где v — средняя скорость фильтрации; α — коэффициент, зависящий от характера стенок скважины и скважности фильтра (обычно $0,5 \leq \alpha \leq 2$, для совершенных чистых скважин $\alpha = 2$); C_0 — концентрация индикатора (соль NaCl или NH_4Cl) в пластовой воде до его запуска; C_1 и C_2 — соответственно концентрация индикатора на время t_1 и t_2 от начала его запуска (оценивается по удельному электрическому сопротивлению).

Определяя скорость фильтрации по зависимости (VIII. 1) и зная гидравлический уклон потока I , можно определить коэффициент фильтрации $K = v/I$. Приемлемые результаты получают при исследовании скважин, вскрывающих песчаные и гравийно-галеч-

ные коллектора, существенно завышенные значения скоростей и коэффициентов фильтрации — при опробовании трещиноватых и закарстованных пород.

При послойном определении коэффициента фильтрации устанавливают величины поглощения воды каждым слоем Q_i при стабильном ее наливе (откачке) в скважину и повышении уровня на величину S_c и определяют соответственно коэффициенты фильтрации K_i или водопроницаемости $T_i = K_i m_i$ из соотношения

$$S_c = \frac{Q_i}{2\pi K_i m_i} \ln \left(\frac{R}{r_c} \right) = \beta \left(\frac{Q_i}{K_i m_i} \right), \quad (\text{VIII.2})$$

где $\beta = 1/2\pi \ln R/r_c$ — коэффициент, величина которого при реальных значениях параметров изменяется от 1,3 до 1,5 для напорных вод и от 0,9 до 1,2 для грунтовых вод и нередко при ориентировочных расчетах принимается равной единице.

В благоприятных условиях по данным резистивиметрии обеспечивается послойное определение коэффициента фильтрации с погрешностью 15—25%. Детально методика обработки резистивиметрических кривых приведена в методическом руководстве [5].

Следует отметить, что резистивиметрию нельзя использовать для оценки фильтрационных свойств в условиях взаимосвязи нескольких водоносных горизонтов, различающихся по напорам. В таких условиях целесообразнее применять расходомерию.

Метод расходомерии обладает более широкими возможностями определения фильтрационных свойств и гидростатических напоров водоносных горизонтов, в том числе в условиях их гидравлической взаимосвязи. Обработка данных расходомерии позволяет выделить в разрезе и определить мощности всех водоносных зон и соответствующие им статические уровни, построить вертикальный профиль водопроницаемости по разрезу скважины и оценить среднее значение коэффициента фильтрации по зонам (см. гл. IV).

Термометрический метод основан на измерении температур в искусственно подогретых с помощью электронагревателей скважинах. Участки наибольшего изменения температуры указывают положение зон водопритоков (остывание вследствие теплопереноса движущейся жидкостью). Скорость фильтрации определяется, как и при резистивиметрическом методе, по формуле (VIII.1), в которой вместо концентраций индикатора C_0 , C_1 и C_2 принимаются соответствующие значения температур t_0^0 , t_1^0 и t_2^0 (исходная до подогрева и фиксируемые в моменты времени t_1 и t_2 после подогрева).

Изучение степени взаимосвязи водоносных зон и горизонтов осуществляется по данным расходометрических работ, выполняемых при откачке по наблюдательной скважине, вскрывающей тот же разрез, что и опытная скважина. Интенсивность откачки из опытной скважины должна быть достаточной

для того, чтобы вызвать ощутимые, для замеров расходомертвей перетоки воды в зоне расположения наблюдательной скважины [5].

Определение общей минерализации подземных вод осуществляется несколькими методами, физической основой которых является использование зависимости электрического сопротивления и амплитуды естественных потенциалов от минерализации изучаемых вод. Обычно для этой цели используются данные стандартного каротажа КС и БКЗ, по замерам которых определяется минерализация воды с точностью до 25%. Величину минерализации можно также установить методом повторных (после подсолония) замеров естественного потенциала (ПС) и микрозондированием. Если к оценке минерализации подземных вод предъявляются повышенные требования, целесообразно использовать указанные выше методы в комплексе. Это может снизить погрешность определения до 10—15%.

Все рассмотренные методы наземных и скважинных геофизических исследований находят широкое практическое применение при проведении гидрогеологических съемочных работ и при разведке различных типов месторождений подземных вод [2, 5, 7, 9—11].

Анализ опыта применения геофизических методов при гидрогеологическом изучении месторождений подземных вод указывает на возможность существенного повышения геолого-экономической эффективности выполняемых исследований. В частности, на стадии предварительной разведки применение геофизических методов исследований способствует эффективному решению таких вопросов, как: 1) выделение в пределах месторождения наиболее перспективных эксплуатационных участков либо участков, благоприятных для размещения проектируемых сооружений; 2) выбор направлений разведочных профилей и обоснование схемы размещения сети разведочных скважин; 3) определение оптимальной глубины изучения месторождения; 4) количественная и качественная оценка изучаемых водоносных горизонтов; 5) выявление и оценка границ месторождения, степени водообмена подземных вод и условий возобновления их запасов.

Для решения этих вопросов, а также многих других частных задач, о которых говорилось выше, проводятся площадные геофизические исследования и комплекс исследований на скважинах. Получаемые в результате каротажных и опытно-фильтрационных работ на скважинах данные о геолого-литологическом разрезе и гидрогеологических его характеристиках экстраполируются на всю изучаемую площадь на основе результатов наземных геофизических исследований. Эти данные используются для обоснования схемы дальнейшей разведки месторождения.

На стадии детальной разведки преобладающее значение имеют геофизические исследования в скважинах, способствующие геолого-литологическому расчленению изучаемого разреза, его гидрогеоло-

гической стратификации, изучению и оценке фильтрационных свойств пород, уточнению положения границ участка и месторождения, их характера и граничных условий, а также решению других гидрогеологических задач.

Геофизические исследования на каждой из стадий разведки месторождения выполняются поэтапно (на первом этапе — работы, предшествующие основным гидрогеологическим исследованиям, на втором — выполняемые одновременно с гидрогеологическими исследованиями). Это обеспечивает более целенаправленное и обоснованное по объемам проведение гидрогеологических исследований.

В результате геофизических работ каждого этапа составляются схематические карты и разрезы, отражающие результаты выполненных в соответствии с геологическим заданием исследований (схемы геолого-тектонического строения; схематические карты мощностей зоны аэрации или рыхлых отложений; карты литологических особенностей, коэффициентов фильтрации, минерализации подземных вод и т. п.). Эти материалы являются основой для корректировки направленности, видов и объемов дальнейших гидрогеологических работ.

§ 2. Ядерно-физические методы исследований

К ядерно-физическим методам исследований здесь условно относятся все методы, основанные на выявлении и использовании закономерностей распространения и поведения искусственных и естественных стабильных и радиоактивных изотопов в природных водах в целях решения самых разнообразных гидрогеологических задач. Эти методы получили интенсивное развитие в последние годы и начинают достаточно широко использоваться для решения частных гидрогеологических задач (изучение происхождения, распределения и возраста подземных вод, интенсивности изменения влажности пород в зоне аэрации и движения подземных вод в зоне насыщения, определение водно-физических и фильтрационных характеристик горных пород, оценка взаимосвязи различных типов природных вод и т. п.). Внедрению этих методов в практику гидрогеологических и гидрологических исследований придается большое значение во многих странах в связи с сотрудничеством в рамках международной организации ЮНЕСКО, а также в связи с большой их перспективностью [9—11].

Ядерно-физические методы используют в своей основе прежде всего природные стабильные и радиоактивные изотопы, изменения в естественном распространении которых могут быть использованы и при гидрогеологических исследованиях. К числу таких природных изотопов относятся стабильные изотопы водорода и кислорода (D и ^{18}O), входящие в состав воды и образующиеся под действием космических лучей, углерод ^{14}C , тритий T , кремний ^{32}Si , гелий ^3He и изотопы семейства урана и тория (^{222}Rn , ^{226}Ra и др.).

Основными тяжелыми соединениями стабильных изотопов кислорода и водорода являются H_2^{16}O и H_2^{18}O , которые присутствуют в природных водах в количестве 320 и 2000 на миллион молекул (соответственно на долю обыкновенных молекул воды H_2O приходится 997 680 частей).

Изучая изотопный состав атмосферных осадков, морских и подземных вод и анализируя причины возможного его изменения, можно более обоснованно решать вопросы происхождения вод изучаемого объекта.

Определяя содержание в воде различных природных радиоактивных изотопов, являющихся продуктами радиоактивного распада исходных изотопов, и анализируя закономерности такого распада и возможные пути обогащения подземных вод данными изотопами, устанавливают возраст подземных вод. Для этой цели используют данные как о содержании отдельных радиоактивных изотопов (например, трития, ^{14}C , ^{32}Si), так и их соотношений (радия и радона, гелия и аргона и др.).

Выявленные закономерности содержания и соотношения природных радиоактивных изотопов в различных типах природных вод (в осадках, реках, морях, озерах, подземных водах и т. д.) и анализ причин возможных изменений дают возможность решать самые разнообразные гидрогеологические задачи, начиная от выявления генезиса тех или иных природных вод и кончая обоснованием путей наиболее рационального изучения, оценки и использования их в народном хозяйстве. Многочисленные примеры применения ядерных и изотопных методов, использующих природные радиоактивные и стабильные изотопы, приведены в специальной литературе [2, 7, 9—11].

Ядерные и изотопные методы исследований широко используют и искусственные радиоизотопы, получаемые путем бомбардировки стабильных элементов ядерными частицами (например, нейтронами в ядерном реакторе). Различные виды излучений, испускаемых радиоизотопами, дают возможность метить ими водные и другие объекты, проследивать за их миграцией и, таким образом, использовать искусственные радиоизотопы в качестве радиоактивных индикаторов. Применение радиоактивных изотопов при исследованиях движения подземных вод является, по существу, логическим развитием известного метода индикаторов (см. гл. IV, § 6). К числу преимуществ методов меченых атомов относятся: высокая чувствительность обнаружения индикаторов при низких их концентрациях, большой выбор изотопов для индикации и техническая возможность «мечения» больших объемов воды. Из недостатков радиоиндикаторных методов следует отметить: сравнительно высокую их стоимость, потребность в специализированном полевом оборудовании и специальном обучении сотрудников, выполняющих работу с радиоактивными веществами.

В каждом конкретном случае радиоиндикатор выбирается с учетом условий проведения эксперимента, индикационных свойств

изотопа (энергии излучения, периода полураспада, сорбционных и растворительных свойств) и его стоимости. В качестве наиболее распространенных в мировой практике индикаторов используются изотопы: ^3H , ^{131}I , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{24}Na , ^{35}S , ^{82}Br , ^3He и др. На стадии планирования экспериментов необходимо получить разрешение от органов здравоохранения. В любом случае использование радиоактивных изотопных индикаторов должно быть обосновано научным или экономическим преимуществом или большей точностью ожидаемых результатов по сравнению с обычно практикуемыми методами.

Сущность радиоиндикаторных методов применительно к определению направления и скорости фильтрации подземных вод была изложена ранее (см. гл. IV, § 6). Однако диапазон практического применения радиоиндикаторных методов при гидрогеологических исследованиях является существенно более широким [9, 11]. Они могут с успехом использоваться при изучении геометрии порового пространства, процессов влагопереноса в насыщенных и неполностью насыщенных горных породах (капиллярное, инфильтрационное и фильтрационное движение), физической картины движения в пористых и трещиноватых средах, условий перемещения растворов, загрязнений и других веществ в различной природной обстановке, процессов осушения или увлажнения при действии различных инженерных сооружений, для определения влажности, пористости, водопроводимости и других параметров, выявления и оценки роли тектонических разломов и других границ области фильтрации, областей питания и разгрузки подземных вод, степени их взаимосвязи с поверхностными водами, условий фильтрации воды из каналов и водохранилищ и т. д.

К ядерно-физическим методам исследований относится также группа методов, основанных на применении для изучения водных и других объектов герметизированных радиоактивных источников [11]. В эту группу, в частности, входят и широко практикуемые в геофизике методы радиоактивного каротажа, основанные на измерении различного рода излучений в разрезах скважин под воздействием источника радиоактивного излучения, размещаемого в каротажном зонде. К ним относятся гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж и нейтронный гамма-каротаж (см. гл. VIII, § 1). Эти методы оказываются эффективными при литологическом и гидрогеологическом расчленении изучаемого разреза скважин любой глубины. Следует особо отметить высокую эффективность геолого-гидрогеологического изучения разреза рыхлых отложений с помощью радиоактивного каротажа, выполняемого пенетрационно-каротажным методом, при котором каротажный зонд задавливается в рыхлые отложения с помощью специальной гидравлической установки, смонтированной на автомобиле [11]. Этим методом обеспечивается скоростное геолого-гидрогеологическое изучение толщи рыхлых отложений зоны аэрации и зоны насыщения на глубину до 40 м.

§ 3. Гидрохимические исследования

Гидрохимические исследования — необходимая составная часть любых гидрогеологических изысканий. В зависимости от стадии и направленности изысканий объем и задачи гидрохимических исследований могут существенно изменяться. В несколько обобщенном виде задачи гидрохимических исследований могут быть сформулированы следующим образом: 1) выявление закономерностей формирования различных типов подземных вод и их гидрогеохимической зональности; 2) оценка качественного состава подземных вод как источника для хозяйственно-питьевого, производственно-технического, сельскохозяйственного и лечебно-питьевого водоснабжения; 3) оценка качественного состава и промышленной ценности подземных вод как сырья для извлечения из них промышленных компонентов или использования их теплоэнергетического потенциала; 4) выявление гидрогеохимических особенностей и закономерностей подземных вод в целях более правильного и глубокого познания и оценки гидрогеологических условий изучаемых территорий; 5) установление влияния химического состава подземных вод на развитие современных физико-геологических процессов (карст, суффозия, оползни и т. д.); 6) оценка возможного отрицательного влияния подземных вод на инженерные сооружения, частично или полностью соприкасающиеся с ними (агрессивность и коррозия), на оборудование, находящееся в горных выработках (коррозия), на мелиоративное состояние земель (вторичное засоление); 7) обоснование и составление прогнозов возможного изменения качества подземных вод и гидрогеохимической обстановки в условиях нарушения режима подземных вод; 8) оценка перспектив изучаемых площадей в отношении наличия месторождений твердых и жидких полезных ископаемых и газов; 9) изучение влияния антропогенных процессов (сброс сточных вод, отвалы, ядерные эксперименты, подземная газификация углей и сланцев и др.) на химический состав и качество подземных вод; 10) гидрохимическое обслуживание наблюдений за режимом, каротажных, индикационных и других видов исследований; 11) изучение ионно-солевого комплекса пород зоны аэрации и подземных вод с целью прогноза их изменения при мелиорации земель.

Большинство из перечисленных задач решается в процессе выполнения общих и специализированных гидрогеологических съемок на основе изучения химического состава подземных и связанных с ними поверхностных вод и последующей интерпретации полученных результатов с учетом всех природных особенностей района и других факторов и процессов, определяющих условия формирования химического состава подземных вод. Нередко представляется целесообразным устанавливать соответствующие зависимости или коррелятивные связи между отдельными показателями гидрогеологических условий и химическим составом подземных вод.

В процессе съемочных работ химический состав подземных вод устанавливается в результате гидрохимического опробования (отбор проб воды с последующим выполнением химических анализов) всех представительных водопунктов и водопроявлений (см. гл. II, § 3 и гл. VI, § 2).

Результаты опробования должны обеспечивать качественную оценку всех выделенных в процессе картирования водоносных горизонтов (комплексов), установление региональных гидрогеохимических закономерностей и решение других поставленных перед съемкой задач.

Оценка качества воды в зависимости от ее назначения осуществляется на основе учета требований, предъявляемых к качеству воды соответствующими гостами, нормами и техническими условиями (см. гл. VI, § 2).

При характеристике гидрогеохимической зональности должно быть отражено вертикальное и площадное изменение минерализации и состава вод, а также растворенных газов. В изученной части геологического разреза важно выделить гидрогеохимические зоны (по величине минерализации и составу водорастворимых газов). На фоне выделенных гидрогеохимических зон должны быть отмечены все гидрогеохимические аномалии и объяснены причины их проявления. Гидрогеохимические закономерности в плане следует увязать со структурно-тектоническими особенностями района.

Для вод каждой гидрогеохимической зоны необходимо такое число анализов, которое бы позволило достоверно установить характер изменения основных компонентов в ее пределах с учетом гидродинамических особенностей изучаемой системы.

В составе вод помимо шести основных компонентов обязательно должны быть определены количественно: иод, бром, бор, литий, рубидий, цезий, стронций. Из водорастворенных газов обязательно должны быть определены азот, кислород, сумма горючих газов, водород, гелий, аргон, уголекислота, сероводород.

Решение этих и многих других гидрогеологических задач осуществляется на основе использования прямых или косвенных связей, получаемых в результате исследований гидрохимических данных с соответствующими геологическими и гидрогеологическими характеристиками, а также на основе сравнения теоретических и фактически устанавливаемых гидрохимических показателей. Так, соответствующий анализ и интерпретация данных о химическом составе подземных вод позволяют оценивать интенсивность водообмена, генезис и возраст подземных вод, условия гидравлической взаимосвязи водоносных горизонтов, роль тектонических разломов и других границ области фильтрации, перспективность изучаемого района на наличие тех или иных месторождений полезных ископаемых. Изучение ионно-солевого комплекса пород зоны аэрации (поровых растворов, поглощенных катионов, растворимых солей) и химического состава подземных вод позволяет давать обоснованные прогнозы их режима в процессе орошения земель и т. д.

При решении многих гидрогеологических и геологических задач химический состав воды используется как ценный источник информации о ее происхождении, о процессах, в которых она (вода) принимала прямое или косвенное участие, о вещественном составе водосодержащих горных пород, истории геологического развития и многих других факторах. В основе решения всех этих задач лежит учение о формировании химического состава подземных вод. Прямым выходом этого учения в практику геологоразведочных работ является гидрогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых.

Гидрогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых основан на изучении процессов взаимодействия подземных вод с вмещающими горными породами и особенностей миграции химических элементов в подземной гидросфере, которая в этом случае является объектом исследований. В результате систематического гидрохимического опробования подземных и связанных с ними поверхностных вод на изучаемой площади выявляются и оконтуриваются водные ореолы и потоки рассеяния (аномалии), характеризующиеся повышенным по сравнению с фоновым содержанием отдельных микрокомпонентов либо определенных их комплексов. Проверка и всесторонняя оценка выявленных аномалий дают возможность устанавливать их связь с месторождениями полезных ископаемых или их проявлениями, даже если последние залегают на значительных глубинах (до 300—500 м).

Опыт показал возможность использования гидрогеохимических исследований для поисков различных видов полезных ископаемых (особенно рудных, нефти и газа) во всех ландшафтных зонах. Особенно эффективным гидрогеохимический метод оказывается в горных, предгорных и равнинных (полузакрытых) районах с неглубоким залеганием четвертичных пород, где вследствие значительной расчлененности рельефа и наличия многочисленных естественных водопроявлений (родники, мочажины, высачивания, озера, болота, ручьи, реки) легко устанавливаются водные ореолы рассеяния скрытых рудных тел и залежей. В слаборасчлененных районах с ограниченным развитием естественных водопроявлений для более полного гидрохимического опробования необходимо заложить некоторое количество различных горных выработок (шурфов, канав, скважин), но даже в таких неблагоприятных гидрогеологических условиях нередко гидрогеохимические поиски месторождений оказываются более эффективными, чем все другие методы. Об эффективности метода свидетельствует открытие с его помощью около 30 месторождений и рудопроявлений, в том числе медно-никелевого Октябрьского месторождения, залегающего в зоне многолетней мерзлоты [6].

Гидрогеохимический метод поисков, будучи самым глубинным из всех геохимических методов, особенно эффективен при региональных геолого-гидрогеологических исследованиях; без каких-либо значительных дополнительных затрат он позволяет проследить

региональные закономерности распространения водных ореолов рассеяния, оценить общие перспективы территории на те или иные виды полезных ископаемых и выделить наиболее перспективные на них районы или участки. Выполняемые гидрохимические исследования дают основу для решения других чисто гидрогеологических задач, о которых говорилось выше. Это существенно повышает геологическую и экономическую эффективность и гидрогеологических и гидрохимических исследований.

В связи со сказанным целесообразно затронуть вопрос о месте и роли гидрогеохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых. Наибольший геолого-поисковый эффект обеспечивается при комплексном проведении различных геохимических методов поисков (литохимического, биохимического, атмосферического) и гидрогеологических исследований (без чего невозможна правильная интерпретация результатов гидрохимического опробования), т. е. при комплексной геолого-гидрогеологической съемке. Оправданным, особенно в районах перспективных на обнаружение тех или иных месторождений полезных ископаемых и благоприятных по гидрогеологическим условиям для гидрохимического опробования, представляется применение этого метода и в составе гидрогеологической съемки на всех этапах ее проведения [1, 6].

В соответствии с масштабностью и стадийностью гидрогеохимические поиски делятся на среднемасштабные (рекогносцировочные), крупномасштабные (поисковые) и детальные.

Рекогносцировочные поиски в масштабах 1 : 100 000—1 : 200 000 и мельче осуществляются с целью изучения условий формирования химического состава подземных вод в пределах крупных регионов, оценки общих перспектив рудоносности и выделения перспективных районов. Поисковые гидрогеохимические исследования (масштаб 1 : 50 000—1 : 25 000) проводятся с целью выявления водных ореолов и потоков рассеяния рудообразующих элементов и перспективных для последующих работ площадей. Детальные гидрогеохимические исследования (масштаб 1 : 10 000 и крупнее) проводятся на участках проявления рудной минерализации и наиболее перспективных гидрогеохимических аномалий для выделения и оконтуривания рудных участков и тел, изучения природы аномалий и т. д. В процессе поисков выполняются площадные и профильные гидрогеохимические исследования с опробованием встречающихся естественных и искусственных водопроявлений и проведением режимных наблюдений. Число точек гидрохимического опробования в зависимости от сложности геолого-гидрогеологических условий составляет при региональных исследованиях 0,2—1,2, при поисковых 1,4—4,5 и при детальных от 5 до 20 на 1 км² изучаемой площади [6].

Отбираемые в процессе поисков пробы воды анализируются с целью определения макро- и микрокомпонентов, газового (CO₂, O₂, H₂S, N₂, CH₄ и др.) и микробиологического составов. Анализы воды могут быть сокращенными, полными и специальными. Для

определения микрокомпонентного состава пробы воды предварительно концентрируются (испарением, соосаждением, сорбцией, экстракцией) и направляются на последующий анализ (спектральный, полярографический, колориметрический, фотометрия пламени и др.). Определение макрокомпонентов и некоторых микрокомпонентов осуществляется в полевых условиях с помощью походных лабораторных комплексов (ПЛАВ, МЛАВ, Комар-2 и др.).

Выявление гидрогеохимических аномалий, их интерпретация и оконтуривание участков с предполагаемым скрытым оруденением проводится с помощью различных методических приемов и статистических методов анализа распределения элементов-индикаторов рудных тел в подземных водах с учетом гидродинамических, металлогенических, ландшафтных и геолого-структурных особенностей района поисков.

Наиболее перспективным представляется гидрогеохимический метод поисков сульфидных, полиметаллических, медно-никелевых, сурьмяно-ртутных, цветных, редкометалльных, урановых и других рудных месторождений, а также месторождений нефти, газа, минеральных и промышленных вод. Детально гидрогеохимические методы поисков охарактеризованы в специальной литературе [3, 4, 6].

§ 4. Радиогидрогеологические и другие виды исследований

Как уже отмечалось (см. гл. II, § 3), радиогидрогеологические исследования обязательны при гидрогеологических съемочных работах всех масштабов, а также при изучении, геолого-промышленной оценке и эксплуатации урановых месторождений. Цели радиогидрогеологических исследований в процессе съемочных работ следующие: 1) общая радиогидрогеологическая оценка и характеристика изучаемой территории; 2) качественная оценка радиоактивных подземных и поверхностных вод, определение содержания радиоактивных элементов (U, Ra, Rn, ^{40}K , ^3H , ^{14}C и др.); 3) изучение закономерностей распространения и миграции в подземных водах радиоактивных элементов и выявление площадей и участков, перспективных для поисков урановых оруденений, а также радиоактивных вод бальнеологического или промышленного значения; 4) выявление радиогидрогеологических и радиометрических аномалий и их геолого-поисковая интерпретация; 5) выяснение закономерностей и условий формирования подземных вод и решение других гидрогеологических задач на основе количественных определений содержания радиоактивных элементов и изотопов.

При изучении урановых месторождений радиогидрогеологические исследования должны обеспечить их правильную геолого-промышленную оценку и обоснованный выбор мероприятий по их промышленному освоению (способ и режим обработки, предотвращение радиоактивного заражения, радиогидрогеологическая документация и обслуживание всех видов работ и т. д.). Радиогидро-

геологические исследования заключаются в опробовании на радиоактивность и содержание отдельных радиоактивных элементов и их спутников различных естественных и искусственных водопроявлений и горных пород, в проведении радиометрических наблюдений, отборе проб воды, газа и горных пород на специальные анализы и т. д.

В общем случае методика проведения исследований такая же, как и при гидрогеохимических исследованиях, но следует учитывать специфику отбора проб воды, пород и газа для различного рода радиоактивных определений [8—11].

Важнейшей составной частью радиогидрогеологических исследований являются поиски урановых оруденений или месторождений **радиогидрогеологическим методом**, который, как и гидрогеохимический метод поисков, основан на выявлении водных ореолов и потоков рассеяния радиоактивных и сопутствующих им элементов и соответствующей их геолого-поисковой интерпретации. Эффективность метода зависит от степени расчлененности рельефа и других условий, благоприятствующих образованию водных потоков рассеяния урана, радия, радона, гелия, радиоактивных изотопов и металлов-спутников уранового оруденения (молибдена, олова, мышьяка, свинца, ванадия, фосфора и др.), поэтому наиболее эффективно применение его в горно-складчатых районах в комплексе с другими поисковыми методами и гидрогеологическими исследованиями. Радиогидрогеологический метод поисков следует рассматривать как вариацию гидрогеохимического метода применительно к выявлению месторождений и оруденений радиоактивных элементов.

Другие методы исследований. На современном этапе развития эффективное решение гидрогеологических задач невозможно без использования основных достижений научно-технического прогресса и широкого внедрения современных методов исследований, развивающихся как в области гидрогеологии, так и в области сопредельных научных дисциплин.

В предыдущих главах, посвященных рассмотрению различных видов и методов исследований, было показано, что для решения значительного круга гидрогеологических задач помимо традиционных гидрогеологических методов широко привлекаются методы гидравлики, гидрологии, гидрометрии, математического моделирования, аэрофотосъемки, геоботаники, гидрохимии, геофизики, современные методы ядерной геофизики, методы скоростного гидрогеологического и гидрогеохимического опробования водоносных горизонтов.

Среди других методов, способствующих эффективному решению прикладных и научных гидрогеологических задач, в первую очередь следует отметить палеогидрогеологические, математические, экономические и космические методы исследований.

Палеогидрогеологические исследования основаны на восстановлении гидрогеологической истории изучаемого объекта и имеют

своей целью выяснение условий формирования и закономерностей распространения различных типов подземных вод и других месторождений полезных ископаемых, которые помогают целенаправленному научно обоснованному ведению поисково-разведочных работ и геолого-промышленной оценке выявляемых месторождений. Палеогидрогеологические исследования включают реконструкцию химического состава древних подземных вод, восстановление и историю древних гидродинамических условий, палеогеографические реконструкции, определение возраста подземных вод и другие построения. Для палеогидрогеологических реконструкций используются, в частности, методы гидромеханики, моделирования и гидродинамических расчетов, методы отжатия и изучения поровых растворов, ядерные и изотопные методы исследований.

Математические методы находят широкое применение при гидрогеологических исследованиях на всех этапах их проведения. Основными направлениями применения математических методов являются следующие: 1) сбор и первичная обработка массовой гидрогеологической, геофизической, гидрологической, гидрогеохимической и другой информации с применением ЭЦВМ; 2) математическая обработка получаемой в результате исследований информации с целью установления коррелятивных связей и зависимостей между искомыми гидрогеологическими характеристиками и наблюдаемыми в процессе исследований показателями, факторами и процессами; 3) использование математических методов моделирования (в том числе и моделирования на ЭЦВМ) для решения самых разнообразных задач гидрогеологических исследований (определение и уточнение расчетных гидрогеологических параметров, уточнение и обоснование расчетных фильтрационных схем, корректировка объемов и методики проведения исследований, математическое обслуживание различных прогнозов, оценок и построений и т. п.); 4) применение методов математической статистики и теории вероятности к оценке точности и достоверности результатов различных видов исследований, сопоставительный анализ различных методов исследований и обоснование мероприятий по повышению достоверности их результатов, обоснование объемов, необходимых для проведения исследований при заданной степени достоверности их результатов; 5) вероятностно-статистические методы анализа и оценки стационарных наблюдений и их использование при различного рода гидрогеологических прогнозах (режима подземных вод, водопритока в горные выработки и т. д.) и построениях; 6) привлечение математического аппарата к изучению процессов тепло-массопереноса и обоснованию методов их прогноза.

Диапазон применения математических методов при гидрогеологических исследованиях непрерывно расширяется.

Экономические методы пока не получили должного внедрения в практику гидрогеологических исследований, хотя необходимость в их применении возникает как при планировании различных водохозяйственных мероприятий, так и в процессе осуществления гид-

рогеологических исследований и изысканий на конкретных объектах.

Эти методы должны найти широкое применение при обосновании наиболее рационального комплекса исследований, обеспечивающего эффективное решение поставленных гидрогеологических задач. Обязательным элементом таких исследований является экономическая оценка конкурирующих вариантов проведения изысканий, их сопоставление по основным технико-экономическим показателям и выбор наиболее рационального из них по сумме всех показателей.

Методы экономической оценки используются для обоснования целесообразности постановки и дальнейшего проведения гидрогеологических исследований на том или ином объекте на основе экономической оценки и сопоставления условий строительства проектируемого сооружения или промышленного освоения подземных вод по всем возможным проектным вариантам. Техничко-экономические исследования необходимы также при геолого-промышленной оценке месторождений подземных вод, определении их эксплуатационных запасов и обосновании наиболее рациональных вариантов их народнохозяйственного использования, при сопоставительных оценках различных видов и методов исследований или различных вариантов осуществления одного и того же инженерного мероприятия (водоснабжения, орошения, осушения, гидротехнического строительства и т. п.), при определении целесообразности и экономической эффективности осуществления любых инженерных мероприятий, в том числе и гидрогеологических исследований.

Космические методы исследований включают различного рода наблюдения и съемки с помощью космических объектов (зондов, спутников Земли, орбитальных научных станций) и используются главным образом для решения региональных гидрогеологических задач и картирования (выявление скрытых областей питания и очагов разгрузки подземных вод, прослеживание тектонических нарушений, литолого-фациальных контактов и других гидрогеологических границ, оценка масштабов и области проявления геологической деятельности подземных вод, оценка характера и степени влажности почв на полях и массивах орошения и т. д.). По мере разработки методов и приемов интерпретации результатов космических исследований диапазон их применения, эффективность и комплекс решаемых с их помощью гидрогеологических задач будут непрерывно расширяться [1].

МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНЫХ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

ГЛАВА IX

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Водоснабжение — важнейшая народнохозяйственная задача, успешное решение которой способствует не только неуклонному повышению благосостояния населения, благоустройству населенных пунктов и благотворному преобразованию природы, но и созданию материально-технической базы коммунизма и условий эффективно-го развития производительных сил в стране. Постоянный рост промышленного и сельскохозяйственного производства, повышение благосостояния и культурного уровня населения, громадные темпы промышленного и гражданского строительства вызывают соответствующее увеличение водопотребления, поэтому задачи водоснабжения становятся еще более важными, актуальными и весомыми. Особую актуальность приобретают сейчас гидрогеологические исследования для целей водоснабжения в районах крупных промышленных и сельскохозяйственных центров и во вновь осваиваемых районах страны.

Подземные воды имеют определенные преимущества перед поверхностными: обладают большой стабильностью режима и почти повсеместным распространением, незначительно загрязнены в бактериальном отношении, меньше подвержены опасности радиоактивного, химического и бактериологического загрязнения, характеризуются высоким качеством, малыми потерями на испарение и благоприятными экономическими показателями их эксплуатации. В силу этого они предназначены прежде всего для удовлетворения питьевых и бытовых нужд населения. Использование подземных вод питьевого качества для других целей (производственно-техническое водоснабжение, орошение и т. д.) разрешается только при отсутствии поверхностных вод и при условии обеспечения первоочередного удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд населенных пунктов [8,17]. Доля подземных вод в обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения уже сейчас превышает 60%. В частности, только 20% городов нашей страны снабжаются поверхностными водами, более 60% — только подземными водами и около 20% имеют смешанные источники водоснабжения [9].

Выполненные в последние годы гидрогеологические исследования свидетельствуют о том, что наша страна имеет большие ресурсы пресных подземных вод, пригодных для водоснабжения. Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод составляют не менее 10 000 м³/с, из них в настоящее время используется около 8—10%. Установлена чрезвычайно большая неравномерность в распределении ресурсов пресных подземных вод, которая существенно затрудняет успешное решение задач водоснабжения и делает их еще более актуальными.

Пути рационального использования подземных вод предопределяются Основами водного законодательства, Генеральной схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР, а также перспективными и ежегодными планами рациональной эксплуатации и охраны водных ресурсов, которые являются составными частями соответствующих планов развития народного хозяйства СССР. В соответствии с действующим положением Министерство геологии СССР осуществляет изучение подземных вод, наблюдения за их режимом и качеством, обеспечивает заинтересованные организации данными о подземных водах и гидрогеологическими прогнозами, необходимыми для строительства и эксплуатации различных объектов (в том числе и водозаборов подземных вод), ведет государственный учет подземных вод. Государственный контроль за использованием и охраной подземных вод осуществляет Государственный комитет СССР по охране природы. При этом подземные воды рассматриваются как составная и важнейшая часть общих водных ресурсов, как элемент природной среды и как важнейшее полезное ископаемое, поиски, разведка и народнохозяйственное использование которого регламентируются соответствующими положениями [11, 17, 19].

Решения о проектировании систем водоснабжения принимают исходя из схем народнохозяйственного развития и размещения производительных сил по отдельным экономическим районам на основе генеральных планов и районных схем водоснабжения, увязанных со схемами комплексного использования и охраны водных ресурсов. Проектирование систем водоснабжения осуществляется специализированными проектными организациями в полном соответствии с действующими положениями. Проект водоснабжения должен быть всесторонне обоснован и согласован с соответствующими органами [8—10, 17], в том числе с органами санитарно-эпидемиологической службы и органами по регулированию использования и охране водных ресурсов.

Выбор источника водоснабжения и проект строительства водозабора обосновывается результатами специальных гидрогеологических и других видов исследований, которые на подземные воды проводятся специализированными гидрогеологическими организациями с разрешения союзно-республиканских геологических органов или производственно-геологических объединений (ПГО). Объем и характер таких исследований на каждой конкретной площади опре-

деляется сложностью природных условий, размерами и характером водопотребления, стадией проектирования, степенью изученности гидрогеологических условий. Однако, как правило, данные гидрогеологических исследований должны быть достаточными для обоснованного решения всех вопросов проектирования водозабора подземных вод. В частности, для водозаборов со сметной стоимостью их строительства более 500 тыс. руб. (для объектов железнодорожного транспорта более 1 млн. руб.) выполненные исследования должны быть достаточными для изучения месторождения подземных вод и оценки его эксплуатационных запасов по разведанным категориям с утверждением их в Государственной или территориальной комиссиях по запасам полезных ископаемых. При меньшей сметной стоимости строительства (некрупное водоснабжение) их проектирование и строительство допустимы без утверждения эксплуатационных запасов в комиссиях по запасам, что, однако, не исключает необходимости проведения гидрогеологических и других видов исследований для обоснования проектирования водозаборов подземных вод.

§ 1. Стадийность и задачи гидрогеологических исследований

В соответствии с общими принципами геологоразведочных работ и действующими положениями во избежание преждевременных и неоправданных затрат гидрогеологические исследования по изысканию, разведке и оценке источников водоснабжения осуществляются в определенной последовательности, обеспечивающей проектирование и строительство водозаборных сооружений. Как уже отмечалось (см. гл. I), геологоразведочный процесс на подземные воды делится на следующие последовательно выполняемые стадии: гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 200 000, поиски, предварительная разведка, детальная разведка, эксплуатационная разведка. В зависимости от потребности в воде, сложности гидрогеологических условий и степени их изученности отдельные стадии исследований могут быть совмещены или полностью исключены. Однако для каждого конкретного объекта проектирования отступление от принятой стадийности должно быть соответствующим образом обосновано.

Гидрогеологические исследования на каждой из стадий выполняются по проекту, утвержденному соответствующими организациями (см. гл. I, § 3). Результаты работ каждой из стадий являются основой для составления проекта работ последующей стадии исследований и проектирования водоснабжения.

Гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 200 000 проводится в целях планомерного гидрогеологического изучения территории СССР, выяснения основных закономерностей формирования и распространения различных типов подземных вод, общей оценки водоносности изучаемой территории и условий существующего и возможного использования подземных вод, выделения площадей и го-

ризонтов (комплексов) перспективных для проведения дальнейших поисковых или разведочных работ и оценки условий проведения этих работ. Таким образом, гидрогеологическая съемка масштаба 1 : 200 000 (если она на данной территории не проводилась) является обязательной первоначальной стадией любых гидрогеологических исследований, так как обеспечивает общую гидрогеологическую оценку территории и дает основу для проектирования и проведения дальнейших гидрогеологических исследований.

Собственно поисково-разведочные на подземные воды работы должны обеспечить обоснованный выбор источника водоснабжения и участка для заложения водозабора, дать надежную основу для оценки и прогноза условий работы проектируемого водозабора на весь расчетный срок его эксплуатации (во всех аспектах) и получить все необходимые для его проектирования и строительства материалы. Более дифференцированно задачи гидрогеологических исследований в процессе поисково-разведочных работ рассмотрены ниже по стадиям их проведения.

Поиски. Основным назначением работ стадии поисков является выявление водоносных горизонтов и участков для постановки дальнейших разведочных работ. Эта стадия подразделяется на две подстадии — общие поиски и детальные поиски.

Целевым назначением работ подстадии общих поисков является оценка перспектив крупных гидрогеологических регионов на выявление различных типов месторождений подземных вод, выделение водоносных горизонтов (комплексов), а также площадей их распространения, перспективных для дальнейших поисково-разведочных работ и при возможности проведение региональной оценки эксплуатационных запасов подземных вод в пределах отдельных бассейнов, регионов, площадей по конкретным водоносным горизонтам и комплексам. На этой подстадии выполняются в основном сбор, обобщение, камеральная обработка и анализ материалов предшествующих съемочных и поисково-разведочных работ, наблюдений за естественным и нарушенным режимом подземных вод, данных по поискам, разведке и эксплуатации других полезных ископаемых. При необходимости могут проводиться опытные работы на действующих водозаборах, бурение и опробование отдельных скважин, ревизионное обследование ранее пробуренных скважин, вскрывших подземные воды, и специализированные исследования для выяснения условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

На основании работ подстадии общих поисков дается характеристика гидрогеологических условий крупных регионов и в их пределах выделяются площади, перспективные для постановки детальных поисков, а в хорошо изученных районах — для постановки предварительной разведки.

Целевым назначением работ подстадии детальных поисков является выявление в пределах перспективных площадей водоносных горизонтов и участков с благоприятными условиями для постановки дальнейших разведочных работ и ориентировочная оценка их экс-

плуатационных возможностей. Основной задачей этой подстадии является получение необходимой исходной информации, позволяющей обосновать в пределах конкретных площадей наличие (или отсутствие) месторождений подземных вод и наметить первоочередные месторождения (участки), представляющие интерес для хозяйственного освоения.

Объем и площадь детальных поисковых работ определяются степенью изученности территории и заявленной потребностью в воде. Работы подстадии включают проведение комплексных геолого-гидрогеологических или гидрогеологических съемок масштаба 1 : 100 000—1 : 50 000 (иногда крупнее) с применением комплекса буровых и опытно-фильтрационных работ, геофизических, геохимических, геоботанических, гидрологических, дистанционных аэро- и космических работ, организацию режимных наблюдений на действующих водозаборах. При поисках подземных вод глубоких горизонтов в артезианских бассейнах платформенного типа, а также в районах где имеются гидрогеологические карты масштаба 1 : 50 000 и крупнее съемочные работы не проводятся, а поиски ведутся с применением наземных геофизических методов (площадные электро-, магнито- и сейсморазведки), необходимого объема поискового бурения, опытно-фильтрационных, топогеодезических и лабораторных работ. Поисковые скважины располагают по поисково-разведочным профилям, которые размещают с учетом данных площадных геофизических исследований.

На основании проведенных поисковых работ должны быть выделены водоносные горизонты и участки, перспективные для постановки разведочных работ, дана прогнозная оценка эксплуатационных запасов в пределах выделенных участков, определено соответствие качества воды заданному назначению и установлены условия эксплуатации подземных вод, экономическая целесообразность и очередность дальнейшего изучения перспективных участков. Отчетные материалы по поискам (с оценкой эксплуатационных запасов подземных вод главным образом по категории C_2) утверждаются соответствующим геологическим объединением и являются основой для составления проекта предварительной разведки. В хорошо изученных районах, при незначительной потребности в воде или при выполнении прогнозной оценки эксплуатационных запасов подземных вод на подстадии общих поисков, детальные поиски не проводятся.

Предварительная разведка — основная стадия разведочных работ на подземные воды (для других полезных ископаемых — детальная разведка). Ее цель — изучение основных особенностей геолого-гидрогеологических условий месторождения, оценка основных источников формирования и общей величины эксплуатационных запасов подземных вод в пределах выявленных при поисках перспективных участков и обоснование постановки детальной разведки. Предварительная разведка осуществляется при наличии заявленной потребности в воде, если месторождение (участок) по своим

масштабам, качеству воды, географо-экономическому положению и технико-экономическим показателям представляет интерес для последующего освоения.

Основные задачи предварительной разведки: а) выбор наиболее перспективного водоносного горизонта (комплекса) в пределах разведваемого участка; б) выявление и оценка основных источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод; в) выбор участка и обоснование схемы размещения скважин будущего водозабора; г) обоснование расчетной схемы и методов оценки запасов; д) изучение качества подземных вод; е) предварительная оценка эксплуатационных запасов подземных вод.

Для решения этих задач на стадии предварительной разведки проводятся: рекогносцировочное обследование участка; бурение разведочных, картировочных и наблюдательных скважин, опытно-фильтрационные работы (пробные и опытные одиночные и кустовые откачки и нагнетания); крупномасштабные площадные геофизические исследования; геофизические исследования в скважинах; гидрологические работы; специальные балансовые исследования; специальные методы исследований (изотопные, ядерно-физические, индикаторные и др.); отбор проб воды и пород, лабораторные работы; наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод (в том числе и на действующих водозаборах и дренажах); топогеодезические работы; санитарное обследование участка работ; технологические исследования (при необходимости). В зависимости от типа месторождения и степени его изученности те или иные виды работ могут не проводиться.

Рекогносцировочное обследование участков выполняют в начале разведочных работ (на залесенных и труднопроходимых участках — аэровизуально) с целью уточнения топографических, геоморфологических, геологических и гидрогеологических особенностей участка и условий проведения разведочных работ (застроенность, заселенность, проходимость и т. д.). В результате обследования выбирают точки для заложения скважин и места для проведения различных видов гидрогеологических исследований. Расстояние между профилями разведочных скважин для различных типов месторождений подземных вод принимают от 1 до 5 км с размещением на них скважин на расстоянии от 0,5 до 3 км.

Из разведочных скважин осуществляются пробные и опытные (одиночные и кустовые) откачки для определения расчетных гидрогеологических параметров и качественной характеристики подземных вод изучаемых горизонтов (сокращенные и полные химические анализы с определением содержания вредных компонентов и бактериологической оценкой вод). Гидрологические и специальные балансово-гидрометрические исследования выполняются при оценке условий питания водоносных горизонтов и их взаимосвязи с поверхностными водами, специальные методы исследований — для оценки взаимосвязи водоносных горизонтов в разрезе и изучения гидрохимических и санитарных условий участка.

В результате предварительной разведки должна быть оценена общая величина эксплуатационных запасов подземных вод (по категориям $C_1 + C_2$, в том числе по C_1 в размере первоочередной потребности), установлена технико-экономическая целесообразность их эксплуатации, обоснован выбор участка для детальной разведки и рациональная в его условиях схема водозабора. В очень сложных гидрогеологических условиях (например, месторождения трещинно-ножильных вод или зоны развития многолетнемерзлых пород), где эксплуатационные запасы подземных вод могут быть определены только гидравлическим методом по данным длительных опытно-эксплуатационных откачек, стадии предварительной и детальной разведки совмещаются и, наоборот, в простых гидрогеологических условиях, где определение эксплуатационных запасов подземных вод по разведанным категориям ($A + B + C_1$) возможно по результатам предварительной разведки, детальная разведка может не проводиться.

Детальная разведка проводится с целью получения необходимых данных для обоснования проекта строительства нового или расширения существующего водозабора с выявлением запасов подземных вод в количестве и по категориям, обеспечивающим работу водозабора в течение заданного срока эксплуатации [11]. Стадия детальной разведки подразделяется на два подвида — детальную разведку нового месторождения и детальную разведку эксплуатируемого месторождения.

Детальная разведка нового месторождения производится только при наличии заявки от головной проектной организации на тех месторождениях (участках), которые признаны целесообразными для народнохозяйственного освоения по результатам предварительной разведки. Ее целевое назначение — обоснование проекта строительства и эксплуатации будущего водозабора, уточнение величины эксплуатационных запасов подземных вод и доведение их изученности до степени, обеспечивающей выделение капиталовложений на проектирование и строительство в соответствии с Классификацией эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод [11]. Выбор участка детальной разведки должен быть согласован с местными органами власти и органами по регулированию использования и охраны вод, с землепользователями, водопользователями, проектной организацией и органами государственного санитарного надзора.

В процессе детальной разведки, выполняемой в основном на участке проектируемого водозабора, основными видами работ являются: бурение разведочных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин и проведение пробных, опытных (одинокных и кустовых) и опытно-эксплуатационных откачек (выпусков). Кроме того, в общий комплекс работ входят геофизические работы (опережающие наземные и исследования в скважинах), наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод (в том числе и на действующих водозаборах), гидрометрические работы, отбор проб воды

и грунтов, лабораторные и топогеодезические работы, а при необходимости — специальные виды исследований.

Заложение разведочно-эксплуатационных скважин и их конструкции должны обеспечивать их последующее (после выполнения разведочных функций) использование в качестве эксплуатационных скважин проектируемого водозабора, а разведочных и наблюдательных — для стационарных наблюдений при эксплуатации. Важнейшим видом работ при детальной разведке являются опытные откачки, которыми опробуются все разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины участка.

По материалам разведки и обследования участков составляются гидрогеологические карты (глубин залегания, изолиний свободной или пьезометрической поверхности, фильтрационных свойств, химического состава и т. п.) в масштабах от 1:5000—1:10 000 до 1:25 000—1:50 000. На них наносятся все скважины, границы и объекты наблюдений, в том числе определяющие санитарную обстановку участка. Геолого-гидрогеологические карты и разрезы по району месторождения составляются обычно в масштабах 1:50 000—1:100 000 (для месторождений грунтовых вод или приуроченных к ограниченным в плане структурам) и 1:100 000—1:200 000 (для более крупных по размерам месторождений). Эти карты и построения используются для соответствующих оценок, прогнозов и обоснований.

По результатам детальной разведки, проводимой применительно к выбранной схеме водозабора, уточняются условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод (их количества и качества) и основные параметры водоносного горизонта, позволяющие обосновать количество эксплуатационных скважин, расстояния между ними, проектные дебиты и понижения, способ эксплуатации и оценить запасы по категориям, обеспечивающим промышленное освоение разведываемого месторождения. Детальная разведка нового месторождения считается завершенной после утверждения отчета по оценке эксплуатационных запасов подземных вод в ГКЗ СССР (ТКЗ) или на НТС геологического объединения.

Детальная разведка эксплуатируемых месторождений проводится по специальным заданиям с целью оценки эксплуатационных запасов подземных вод на участках эксплуатации с неутвержденными запасами или переоценки эксплуатационных запасов на участках действующих водозаборов (при несоответствии выполненных ранее оценок и прогнозов реальным условиям эксплуатации, при расширении водозаборов или существенном изменении условий их эксплуатации за счет искусственного пополнения или других мероприятий). Разведочные работы в этих случаях заключаются в проведении наблюдений за расходами водозаборов, уровнями подземных вод и их качеством (на участках водозаборов и прилегающих территориях) в течение времени, достаточного для установления основных закономерностей формирования эксплуатационных запасов подземных вод. Дополнительно может потребоваться бурение наб-

людательных и разведочных скважин, их опробование, опробование отдельных эксплуатационных скважин, отбор проб воды, лабораторные работы, исследования по искусственному пополнению подземных вод и другие работы. Результаты работ по оценке или переоценке эксплуатационных запасов подземных вод на эксплуатируемых месторождениях также подлежат утверждению в ГКЗ СССР (ТКЗ) или на НТС соответствующих организаций.

Эксплуатационная разведка проводится в процессе строительства и эксплуатации водозаборов на участках с утвержденными запасами с целью выявления соответствия режима эксплуатации выполненным по результатам разведочных работ прогнозам, переоценки запасов подземных вод по данным эксплуатации, обоснования рационального режима эксплуатации и его оперативного регулирования, получения материалов для оценки эксплуатационных запасов подземных вод и на других месторождениях и участках, находящихся в аналогичных условиях.

Эксплуатационная разведка заключается в проведении систематических наблюдений за уровнем, расходом и качеством подземных вод в эксплуатационных и наблюдательных скважинах (в том числе и на прилегающих территориях), в бурении дополнительных наблюдательных и разведочных скважин, в контрольных опробованиях и анализе технико-экономических показателей эксплуатации водозаборных сооружений. Это позволяет проводить оперативное регулирование режима эксплуатации, разрабатывать рекомендации по рациональному режиму и необходимой реконструкции водозаборов, решать вопросы о необходимости проведения работ по доразведке месторождения и т. д. [9, 21].

Работы этой стадии проводятся постоянно в течение всего срока эксплуатации водозабора гидрогеологической службой эксплуатирующих организаций либо организациями системы Мингео СССР по договорам с водопотребителями. Их результаты отражаются в ежегодных отчетах. Детально особенности проведения эксплуатационной разведки подземных вод рассмотрены в работе Н. И. Плотникова [21]. Обстоятельное изложение вопросов поисков и разведки подземных вод для целей водоснабжения дается в работах [9, 15, 20, 25, 26].

§ 2. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей водоснабжения

Особенности исследований для водоснабжения предопределяются многими факторами: размерами водопотребления, требованиями к качеству воды, типом месторождения подземных вод, степенью его сложности и изученности, стадийностью и условиями проектирования водоснабжения. Влияние их на методику проведения гидрогеологических исследований проявляется в различных аспектах.

При незначительном водопотреблении, когда задача водоснабжения объекта может быть решена сооружением одной-двух эксплуатационных скважин (некрупное водоснабжение), гидрогеологические исследования по установленным стадиям обычно не проводятся. На основе анализа фактических материалов и исходных данных задания по району проектируемого водоснабжения составляется проект разведочно-эксплуатационных скважин (скважины), который включает рассмотрение геолого-гидрогеологических условий участка водоснабжения, выбор источника водоснабжения (водоносного горизонта или комплекса), обоснование места заложения скважины и проект по ее сооружению и опробованию. В процессе сооружения и гидрогеологического опробования скважина должна выполнить разведочные функции. После этого она передается в эксплуатацию. В процессе проектирования и опробования скважины с надлежащей полнотой должны быть решены вопросы, касающиеся режима и условий ее эксплуатации, оценки и прогноза качества воды, условий санитарной охраны водозабора и др. Для решения всех вопросов, связанных с проектированием разведочно-эксплуатационных скважин и гидрогеологическим обоснованием условий их работы, помимо камерального анализа фондовых и литературных материалов и работ по документации и опробованию скважин целесообразны специальное рекогносцировочное и санитарное обследование района проектируемого водоснабжения, а также обследование и анализ условий работы действующих водозаборных сооружений.

К разряду некрупного водоснабжения реализуемого проектированием и сооружением разведочно-эксплуатационных скважин относится водоснабжение небольших населенных пунктов и промышленных объектов, сельскохозяйственное, полевое и другие виды водоснабжения [1, 2, 8, 26].

При значительной потребности объектов в воде для обоснования проектов водоснабжения, как уже отмечалось, необходимы поисково-разведочные работы для обоснования выбора источника водоснабжения и эксплуатационного участка, качественной и количественной оценки и прогноза условий эксплуатации подземных вод с учетом удовлетворения заявленной потребности в воде и перспектив дальнейшего расширения водозабора, рационального использования и охраны водных ресурсов района и т. д. Основными задачами выполняемых исследований, определяющими их направленность, эффективность и в конечном счете возможность организации водоснабжения того или иного объекта, являются выявление и оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод в количестве, обеспечивающем заявленную потребность в воде.

Прогнозные ресурсы подземных вод, наличие которых предполагается на основе общих гидрогеологических представлений, теоретических предпосылок, результатов геологического и гидрогеологического картирования, геофизических, гидрохимических, гидрологи-

ческих и водно-балансовых исследований, оцениваются в границах артезианских бассейнов, гидрогеологических массивов и районов и отражают их потенциальные эксплуатационные возможности. Данные о прогнозных ресурсах используются для планирования поисковых работ на подземные воды, а также учитываются при составлении схем комплексного использования и охраны вод.

Под *эксплуатационными запасами* понимается количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования ее в народном хозяйстве в течение расчетного срока водопотребления. Они оцениваются по результатам выполненных на месторождении разведочных работ (как правило, детальной разведки) и по данным эксплуатации подземных вод. Данные об эксплуатационных запасах используются при разработке схем развития отраслей народного хозяйства, добывающих и потребляющих подземные воды, составлении годовых, пятилетних и долгосрочных государственных планов экономического и социального развития СССР, планировании геологоразведочных работ, а по месторождениям, подготовленным для промышленного освоения, — для проектирования водозаборных сооружений и предприятий, добывающих и использующих подземные воды [11].

Как следует из определения эксплуатационных запасов, при их оценке должны быть в должной мере изучены и оценены качество, количество и условия эксплуатации подземных вод, а также их возможные изменения во времени. В зависимости от степени изученности и достоверности определения этих показателей эксплуатационные запасы подразделяются на разведанные — категории *A*, *B* и *C₁* и предварительно оцененные — категория *C₂*. Прогнозные ресурсы по степени обоснованности относятся к категории *P*. Конкретные дифференцированные требования к степени изученности эксплуатационных запасов каждой из указанных категорий приведены в классификации [11]. Так, например, эксплуатационные запасы категории *A* подсчитываются по фактическим и расчетным дебитам эксплуатационных выработок и опробованных опытными откачками (выпусками) разведочных выработок, дебитам родников, а в простых условиях — дополнительно по расчетным дебитам проектных выработок, смежных с опробованными. При этом геолого-гидрогеологические условия должны быть изучены с детальностью, достаточной для достоверной количественной оценки и обоснования граничных условий, принимаемых при подсчете запасов; расчетные гидрогеологические параметры и их изменчивость определены по данным опыта эксплуатации или опытных откачек; доказано соответствие качества подземных вод предъявляемым требованиям в течение расчетного срока эксплуатации и детально изучены условия эксплуатации подземных вод. Требования к изученности указанных показателей для других категорий (*B*, *C₁* и *C₂*) соответственно пони-

жаются. Так, эксплуатационные запасы категории C_1 оцениваются по ограниченному объему фактических данных опробования разведочных выработок, по экстраполяции данных, обосновывающих запасы более высоких категорий (A и B) или по аналогии с примыкающими детально разведанными (или эксплуатируемыми) участками. При этом достаточно приближенная оценка и всех других указанных выше показателей (гидрогеологические условия, источники формирования эксплуатационных запасов, расчетные параметры, качество вод и условия их эксплуатации).

Запасы категорий A и B устанавливаются, как правило, в результате детальной (реже предварительной) разведки подземных вод, а запасы категорий C_1 и C_2 — в результате поисков и предварительной разведки. Проектирование водозаборов со сметной стоимостью их строительства более 0,5 млн. руб. допустимо лишь при условии обеспечения заявленной первоочередной потребности в воде эксплуатационными запасами разведанных категорий ($A + B + C_1$), утвержденной Государственной комиссией по запасам при их определенном регламентированном соотношении. В частности, запасы категорий A и B должны составлять не менее 70—80%, в том числе по категории A — не менее 20—40% (лишь для месторождений с очень сложными гидрогеологическими условиями допускается проектирование водозаборов на базе запасов категорий B и C_1 при условии, что запасы категории B составляют не менее 70%).

Качество подземных вод должно отвечать требованиям водопотребителя в течение всего расчетного срока эксплуатации водозабора, и это необходимо доказать результатами соответствующих лабораторных определений и прогнозными расчетами.

В зависимости от назначения подземных вод выполняются химические, бактериологические и специальные виды анализов (см. гл. VI, § 2 и 3), количество которых устанавливается с учетом сложности гидрогеологических и гидрогеохимических условий участка и возможности их изменения в процессе эксплуатации водозабора. Достоверность выполняемых анализов должна быть подтверждена систематическими контрольными анализами, количество которых принимается до 10% от общего числа отбираемых проб (внешний и внутренний контроль). Отбор проб воды на анализы проводится из оцениваемого и смежных с ним водоносных горизонтов и поверхностных водотоков и водоемов. При этом на участке детальной разведки должны быть опробованы все учитываемые при оценке эксплуатационных запасов скважины, а также все другие водопункты, находящиеся в зоне влияния водозабора.

Таким образом, оценка эксплуатационных запасов подземных вод, являющаяся важнейшим и неотъемлемым звеном в проектировании водоснабжения, заключается в получении доказательств возможности эксплуатации подземных вод при дебите водозабора и качестве воды, удовлетворяющими требования потребителя в течение расчетного срока водопотребления (принимается обычно 25—30 лет). Эффективность работы водозаборного сооружения

должна быть подтверждена сравнительными технико-экономическими расчетами.

Эксплуатационные запасы (производительность водозабора) следует считать обеспеченными, если величина понижения уровня подземных вод в скважинах водозабора на конец расчетного периода водопотребления не превышает допустимого понижения, устанавливаемого с учетом гидрогеологических и технических условий эксплуатации оцениваемого горизонта. Для безнапорных водоносных горизонтов оно обычно равно 0,5—0,75 мощности горизонта, для напорных — величине избыточного над кровлей напора плюс 0,5—0,75 мощности водоносного горизонта. Однако во всех водозаборных точках глубина динамического уровня воды в скважинах не должна превышать возможную для имеющегося насосного оборудования высоту подъема, а остаточный столб воды должен быть достаточным для обеспечения проектной производительности скважины и нормальных условий работы насоса. Если расчетами установлена экономическая нецелесообразность использования подземных вод в настоящее время (несоразмерно высокие затраты на обеспечение водоснабжения, малое количество воды, несоответствие качества воды предъявляемым требованиям и т. д.), то выявленные запасы относятся к забалансовым и расцениваются как возможный объект использования в будущем.

Методика гидрогеологических исследований для целей водоснабжения во многом зависит от того, каким методом будет осуществляться оценка эксплуатационных запасов подземных вод изучаемого объекта. Метод оценки эксплуатационных запасов предопределяется в свою очередь гидрогеологическими особенностями объекта. Поэтому уже на основе анализа литературных и фондовых материалов либо по данным поисковых работ следует наметить расчетную схему и наиболее перспективный для рассматриваемых условий метод оценки эксплуатационных запасов либо их сочетание. Это, безусловно, будет способствовать более целенаправленному и эффективному проведению гидрогеологических исследований. Предварительно намеченная расчетная схема и метод оценки эксплуатационных запасов уточняются и конкретизируются в процессе исследований.

Наибольшее распространение в практике гидрогеологических исследований получил *гидродинамический метод* оценки эксплуатационных запасов, когда соответствующие оценки, прогнозы и обоснования даются на основе расчетов по формулам динамики подземных вод. Как известно, для использования этого метода необходимо изучить реальные гидрогеологические условия объекта и представить их в виде расчетной гидрогеологической схемы, для которой имеются аналитические решения.

Важнейшие задачи гидрогеологических исследований — установление границ и граничных условий области фильтрации, определение фильтрационных и других гидрогеологических характеристик продуктивного горизонта, изучение и оценка качества подземных

вод основного и смежных с ним в разрезе горизонтов, оценка степени взаимосвязи подземных и поверхностных вод, выявление и оценка факторов, предопределяющих особенности движения подземных вод и их режима при эксплуатации.

В сложных природных условиях, достоверный учет и отражение которых затруднительны или невозможны в типовой расчетной схеме, оценка эксплуатационных запасов осуществляется с применением *моделирования*. В зависимости от сложности и степени изученности объекта моделирование может использоваться и как вспомогательный, и как основной метод оценки эксплуатационных запасов. Особенности выполнения гидрогеологических исследований при использовании метода моделирования рассмотрены в гл. VII.

Гидравлические методы, основанные на широком использовании и экстраполяции эмпирических зависимостей, получаемых в процессе длительных опытных работ, целесообразно применять в сложных гидрогеологических условиях (резкая и неравномерная трещиноватость и закарстованность пород, сложная тектоника, высокая фильтрационная неоднородность пород), где затруднительно использование других методов, а также в районах действующих водозаборов с использованием данных эксплуатации.

Гидравлическими методами при установившемся режиме выясняется зависимость дебита скважин от понижения и определяются «срезки» уровня взаимодействующих скважин, а в условиях неустановившейся фильтрации устанавливается эмпирический закон изменения уровней, соответствующий заданному водоотбору. Чтобы обеспечить комплексный учет всего многообразия влияющих на работу водозабора факторов и получить надежные эмпирические зависимости для прогноза поведения уровней, дебитов и взаимодействия скважин гидравлическим методом, необходимы длительные опытные работы. Так, для оценки эксплуатационных запасов подземных вод массивов трещинно-карстовых пород и зон тектонических нарушений нередко требуется проведение длительных (1—3 месяца и более) опытно-эксплуатационных откачек с дебитом, близким к проектному. При этом целесообразно совместить стадии предварительной и детальной разведки с выполнением оценки эксплуатационных запасов по результатам длительных опытно-эксплуатационных откачек.

Ввиду того, что гидравлические методы не обеспечивают возможности прогноза изменения понижений уровня воды во времени и доказательств обеспеченности восполнения эксплуатационных запасов подземных вод, их необходимо применять в комплексе с гидродинамическими или балансовыми методами.

Балансовые методы, позволяющие установить на основе анализа водного баланса изучаемой территории обеспеченность восполнения эксплуатационных запасов, применяются обычно совместно с другими методами (гидравлическими, гидродинамическими), особенно в условиях ограниченных размеров области фильтрации, когда одной из важнейших задач выполняемых исследований являет-

ся выявление и количественная оценка источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод. Это относится, в частности, к месторождениям подземных вод ограниченных по площади геологических структур и массивов трещинных и трещинно-карстовых пород, а также зон тектонических нарушений, особенно при расположении последних в аридных и полуаридных районах. Для выявления условий восполнения эксплуатационных запасов и оценки источников их формирования в таких природных условиях необходим специальный комплекс исследований, включающий стационарные гидрогеологические наблюдения, специальные балансово-гидрометрические и гидрологические исследования, опытно-фильтрационные, геофизические и другие работы. Важное значение балансовые методы приобретают и при региональной оценке эксплуатационных запасов, когда также чрезвычайно важно определить и оценить отдельные составляющие водного баланса, участвующие в формировании эксплуатационных запасов подземных вод. Общее представление о балансовой структуре формирующихся в процессе работы водозабора эксплуатационных запасов Q_s и возможных источниках их восполнения дает следующее уравнение:

$$Q_s = \alpha_1 Q_e + \alpha_2 \frac{V_e}{t} + \alpha_3 Q_n + \alpha_4 \frac{V_n}{t} + Q_n \quad (\text{IX.1})$$

где Q_e и Q_n — соответственно естественные и искусственные ресурсы, характеризующиеся расходом потока в естественных условиях и за счет искусственных мероприятий (пополнения); V_e и V_n — соответственно естественные и искусственные запасы подземных вод; Q_n — ресурсы, привлекаемые в процессе эксплуатации водозабора и развития создаваемой им депрессионной воронки (питание за счет притока поверхностных вод, увеличения инфильтрационного питания, перетекания из соседних водоносных горизонтов); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — соответственно коэффициенты использования естественных и искусственных запасов и ресурсов подземных вод; t — время эксплуатации водозабора.

Как следует из уравнения (IX.1), эксплуатационные запасы оказываются обеспеченными на неограниченный срок, если дебит водозабора полностью компенсируется поступлением воды из области питания (Q_e) или других источников восполнения (искусственные и привлекаемые ресурсы Q_n и Q_n). При этом водозабор будет работать в условиях установившейся фильтрации (например, инфильтрационные водозаборы вблизи естественных или искусственных контуров питания). При отсутствии дополнительных источников восполнения запасов подземных вод ($Q_n=0, V_n=0, Q_n=0$) дебит водозаборов формируется за счет естественного расхода потока Q_e и сработки естественных запасов подземных вод (емкостных и упругих). В таких условиях (при $Q_s > Q_e$) работа водозабора происходит в режиме неуставившейся фильтрации, а запасы оказываются обеспеченными на ограниченный по времени срок. Отмеченные особенности формирования эксплуатационных запасов

следует учитывать при перспективной оценке различных источников водоснабжения и проведении гидрогеологических исследований для целей водоснабжения.

В условиях современной изученности гидрогеологических особенностей территории и все более широкого использования подземных вод перспективным для оценки их эксплуатационных запасов представляется применение *метода аналогии*, основанного на доказательстве и соответствующем использовании сходства между изучаемым объектом и его природным аналогом (в качестве аналога рассматриваются изученные в гидрогеологическом отношении или уже эксплуатируемые объекты). Основной задачей выполняемых при этом исследований является доказательство частичного или полного сходства изучаемого объекта с его аналогом. Основное условие применения метода аналогий для оценки запасов — сходство сравниваемых объектов по типу основных источников формирования эксплуатационных запасов. Различия в значениях гидрогеологических параметров могут быть легко учтены введением соответствующих корректив.

Как показывает практика, в благоприятных условиях метод аналогий может применяться в качестве самостоятельного и обеспечивать достаточно достоверное определение эксплуатационных запасов. Возможно также его эффективное использование для решения частных задач и оценки параметров и факторов, достоверное определение которых на разведкуемом участке, невозможно, нецелесообразно или затруднительно. В частности, по аналогии может быть принята или уточнена расчетная гидрогеологическая схема, выявлены и оценены источники формирования и отдельные составляющие эксплуатационных запасов подземных вод (инфильтрационное питание, привлекаемые ресурсы поверхностных вод, естественные ресурсы и запасы), определены значения отдельных гидрогеологических параметров (водоотдача, коэффициенты перетекания, степень взаимосвязи подземных и поверхностных вод и др.). Особенно эффективным является использование метода аналогий для оценки эксплуатационных запасов и решения частных гидрогеологических задач, если в качестве аналога изучаемого объекта рассматривается действующий водозабор. Для оценки запасов в таких условиях используют значения площадного или линейного модуля эксплуатационных запасов, устанавливаемые по объектам-аналогам [9, 15, 20].

При планировании поисково-разведочных работ в сложных гидрогеологических условиях следует предусмотреть возможность комплексного применения нескольких методов оценки эксплуатационных запасов и соответствующим образом обеспечить целенаправленное проведение изысканий и получение наиболее полной необходимой исходной информации.

Типизация месторождений подземных вод. Особенности их поисков и разведки для целей водоснабжения. Эффективному проведению гидрогеологических исследований для целей водоснабжения

способствуют разработанные применительно к оценке эксплуатационных запасов классификации и типизации месторождений подземных вод и накопленный опыт их разведки и геолого-промышленной оценки [3, 4, 9, 10, 15, 20, 25—27].

По геолого-гидрогеологическим условиям, определяющим методику проведения поисково-разведочных работ и оценки эксплуатационных запасов, выделяются [10] следующие основные типы месторождений подземных вод: 1) речных долин, 2) артезианских бассейнов, 3) конусов выноса предгорных шлейфов и межгорных впадин, 4) ограниченных по площади структур или массивов трещиноватых и трещинно-карстовых пород и зон тектонических нарушений, 5) песчаных массивов пустынь и полупустынь, 6) водно-ледниковых отложений, 7) области развития многолетнемерзлых пород.

Следует отметить, что удельный вес выделенных типов месторождений подземных вод как источников водоснабжения неодинаков. Подавляющее большинство разведанных и эксплуатируемых в настоящее время месторождений относится к первым четырем типам, причем на долю месторождений речных долин и артезианских бассейнов приходится около 80% общего числа разведанных месторождений [9]. Это объясняется сравнительной простотой разведки и промышленного освоения месторождений речных долин, а также тем, что существенное значение в формировании их эксплуатационных ресурсов имеют поверхностные воды, привлекаемые при работе инфильтрационных водозаборов. Это, однако, не исключает возможности того, что и другие типы месторождений подземных вод могут быть источниками крупного и среднего водоснабжения, иметь большое народнохозяйственное значение.

Выделенные выше типы месторождений подземных вод различаются по геолого-гидрогеологическим условиям, определяющим методику проведения поисково-разведочных работ, и оценки их эксплуатационных запасов. По другим показателям, определяющим условия и особенности формирования эксплуатационных запасов подземных вод, возможно дальнейшее подразделение некоторых выделенных типов месторождений на подтипы и группы. Оно способствует более дифференцированному подходу к разведке и эффективному решению задач по обоснованной оценке эксплуатационных запасов подземных вод с учетом накопленного опыта и разработанных методических рекомендаций [4, 9, 10, 15, 20, 25—27].

При определении видов, объемов, методики и последовательности проведения поисково-разведочных работ следует учитывать как общие принципы и положения методики поисков и разведки подземных вод, изложенные выше (см. гл. I, § 1, 2 и г. IX, § 1, 2) и справедливые для всех типов месторождений, так и специфические их особенности, определяемые наиболее характерными чертами гидрогеологических условий каждого из выделенных типов месторождений подземных вод. Размещение поисковых, разведочных и наблюдательных скважин во всех случаях должно обеспечивать

изучение граничных условий водоносных горизонтов, источников формирования эксплуатационных запасов, расчетных гидрогеологических параметров, режима и качества подземных вод с детальностью, необходимой для выбора перспективного участка (на поисковой стадии) и рациональной схемы водозабора (на стадии предварительной разведки) с учетом конкретных природных условий месторождения.

Так, при поисках и разведке месторождений подземных вод речных долин изучают как гидрогеологические условия долины, так и гидрологический режим реки (особенно в условиях взаимосвязи подземных и поверхностных вод). Поисковые и разведочные скважины размещают по поперечникам, секущим долину и заканчивающимся на коренном берегу (по 4—5 скважин на поперечнике: вблизи русла, в тыловой части террас, в месте причленения их к берегу и на коренном берегу), чтобы можно было проследить изменение литологического состава, мощности и фильтрационных свойств водовмещающих пород и качества подземных вод. Для увязки полученных данных допустимо бурение одиночных разведочных скважин между поперечниками по связующему их продольному профилю (по линии предполагаемого водозабора). Расстояние между поперечниками принимается от 3—4 км на стадии поисков до 0,5—1 км на стадии предварительной разведки. На стадии предварительной разведки необходимы специальные кусты скважин для выяснения характера взаимосвязи подземных и поверхностных вод и количественной оценки параметров этой взаимосвязи (суммарное гидравлическое сопротивление ΔL или пропускная способность русла A_0). Обычно используют один специальный куст (см. гл. IV) на характерном участке. На участках большой протяженности допустимо заложение двух-трех специальных кустов.

При изучении месторождений подземных вод артезианских бассейнов важное значение имеют региональные исследования и оценки, выполняемые на стадии поисков (сбор и обобщение материалов, рекогносцировочные гидрогеологические и гидрогеохимические исследования) и завершающиеся региональной оценкой эксплуатационных запасов подземных вод и выбором перспективных участков. Поисковые и разведочные скважины наиболее целесообразно располагать по взаимно пересекающимся профилям для получения характеристики изменения фильтрационных свойств водоносных горизонтов и качества подземных вод по площади (вблизи границ пластов профиля ориентируются нормально к границам). При установленных предпосылках перетекания для оценки условий взаимосвязи водоносных горизонтов и параметров разделяющих их слабопроницаемых пластов на стадии предварительной разведки проводится мощная кустовая откачка с заложением наблюдательных скважин на продуктивный и смежные водоносные горизонты и установкой специальных датчиков порового давления в слабопроницаемых пластах.

Для месторождений подземных вод, располагающихся в краевой зоне артезианских бассейнов, дополнительно определяются параметры продуктивных водоносных горизонтов в зоне их возможного осушения (в безнапорной зоне), условия питания, разгрузки и взаимосвязи с поверхностными водами.

На месторождениях подземных вод конусов выноса поисковые скважины для выбора перспективного участка располагают по продольному профилю, проходящему от предгорий до периферии конуса и при необходимости по поперечникам, доходящим до межконусных понижений. Одной из поисковых скважин необходимо вскрыть полную мощность водовмещающих пород (при большой их мощности целесообразно проведение поинтервальных откачек). Для оценки родникового стока проводят гидрометрические работы, а если его величина превышает заявленную потребность в воде, организуют режимные наблюдения за расходом источников и действующих дренажей. На стадии предварительной разведки производится сгущение скважин на выбранном участке и разбуривание одного или нескольких кустов для определения расчетных параметров. При большой мощности и слоистом строении водовмещающих пород целесообразны кустовые откачки из ярусно расположенных скважин. Желательна постановка специальных балансовых исследований для изучения испарения с уровня подземных вод. В обязательном порядке организуются стационарные наблюдения за режимом подземных вод с определением величины их питания и изменения родникового стока (особенно в период опытных откачек).

При поисках месторождений подземных вод, приуроченных к ограниченному по площади структурам и массивам трещинных и трещинно-карстовых пород, в основном по данным съемочных (масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000) работ, площадных геофизических исследований, бурения и опробования отдельных скважин выявляют площади (участки, зоны) повышенной водопроницаемости и водообильности. Повышенный по сравнению с другими типами месторождений объем поискового бурения необходим в виду того, что значительная часть скважин может оказаться безводными или малопродуктивными.

На стадии предварительной разведки для выявления границ водовмещающих структур, закономерностей изменения фильтрационных свойств пород и качества вод по площади и в разрезе, а также общей количественной оценки эксплуатационных запасов подземных вод выполняется комплекс буровых, опытно-фильтрационных, геофизических, стационарных гидрогеологических и гидрологических наблюдений и специальных балансово-гидрометрических работ. Поперечники разведочных скважин разбуриваются через все месторождение. Для балансовой оценки обеспеченности эксплуатационных запасов выполняются специальные водно-балансовые исследования и гидрометрические работы с обязательной организацией постов на входном и замыкающем месторождение створах.

Стационарные гидрогеологические исследования (в том числе на действующих водозаборах) проводят не только на изучаемых, но и на аналогичных им месторождениях (для оценки эксплуатационных запасов методом гидрогеологических аналогий).

При некрупном водоснабжении в не очень сложных гидрогеологических условиях возможно обоснование проекта водозабора по результатам предварительной разведки (запасы могут быть оценены балансовым методом или по аналогии). На месторождениях с неравномерной трещиноватостью и закарстованностью пород и сложными условиями питания и разгрузки подземных вод предварительная разведка совмещается с детальной, с обязательными длительными опытно-эксплуатационными откачками и оценкой эксплуатационных запасов подземных вод гидравлическим методом.

Специфика поисков и разведки месторождений подземных вод песчаных массивов пустынь и полупустынь определяется конкретными условиями формирования линз пресных вод, потребностью в воде и другими факторами. Для месторождений этого типа наиболее важно установить контуры линз пресных вод, условия их питания, расхождения и взаимосвязи с поверхностными и подстилающими солеными водами. Для решения этих задач на стадии поисков выполняются: гидрогеологическая съемка, сопровождающаяся площадными геофизическими исследованиями, геоботанические наблюдения, поисковое бурение. При предварительной разведке крупных линз осуществляется бурение разведочных скважин по поперечникам, проводятся пробные и опытные откачки, геофизические исследования в скважинах, режимные наблюдения, изучаются процессы подтягивания соленых вод и т. д.

Поиски и разведка месторождений подземных вод водно-ледниковых отложений выполняются в обычной последовательности. Однако в связи с резкой изменчивостью литологического состава и мощностей водовмещающих пород возникает необходимость бурения значительного количества поисковых и картировочных скважин. На стадии предварительной разведки целесообразно предварительное бурение картировочных скважин малого диаметра в местах предполагаемого бурения гидрогеологических скважин для проведения кустовых и реже одиночных откачек. На стадии детальной разведки целесообразно предварительное бурение картировочных скважин для выявления точек заложения разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин.

Определенной спецификой характеризуются и поисково-разведочные работы на подземные воды в области распространения многолетнемерзлых пород, где в зависимости от гидрогеологических и геокриологических условий выделяются месторождения (подтипы): таликов речных долин, подозерных и подаласных таликов, подмерзлотных вод артезианских бассейнов, массивов трещинных и трещинно-карстовых пород [15]. В области островного развития многолетнемерзлых пород распространены все типы месторожде-

ний известные и вне ее. Здесь применима общепринятая для соответствующих типов месторождений методика поисково-разведочных работ (влияние останцов мерзлых пород идентично влиянию участков непроницаемых пород).

Глубокие подмерзлотные воды ввиду высокой стоимости и технических трудностей их эксплуатации целесообразно использовать для не крупного водоснабжения, ограничиваясь при их разведке бурением отдельных разведочно-эксплуатационных скважин (техничко-экономическая целесообразность их использования должна быть установлена в процессе поисков).

На месторождениях таликов речных долин задачи и комплекс исследований аналогичны таковым для месторождений подземных вод речных долин (с постоянным или периодическим стоком). В качестве поисковых признаков таликов используются: растительность, полыньи, наледи и незамерзающие зимой родники, геоморфологические особенности долины, гидрологические закономерности изменения стока в реке, геолого-структурные особенности заложения долины. Они и определяют ориентацию дальнейших работ. Поисковые скважины задаются по поперечникам и вдоль русла рек (часть скважин должна вскрыть талые коренные породы). Для оконтуривания таликов используют геофизические методы. Гидрологические исследования начинают уже со стадии поисков (желательно совмещение отдельных поперечников скважин с гидрометрическими створами). Опытнo-фильтрационные работы по оценке сопротивления русловых отложений проводятся в зимний период (в условиях минимального живого сечения потока). Обязательны наблюдения за наледями (используются как индикаторы подземных вод и для количественной оценки разгрузки подземных вод и их восполнения в критический период). На стадии детальной разведки закладываются и опробуются разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины в основном применительно к схеме будущего водозабора, продолжаются стационарные наблюдения.

При поисково-разведочных работах на подмерзлотные воды межгорных артезианских бассейнов в большинстве случаев целесообразно объединение стадий предварительной и детальной разведки с выполнением необходимого комплекса исследований, завершающегося длительной опытно-эксплуатационной откачкой в бессточный период с дебитом, близким к проектному.

На стадии детальной разведки всех типов месторождений подземных вод разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины следует располагать применительно к наиболее рациональной схеме водозабора (тип водозабора, количество скважин, их производительность, система их расположения), устанавливаемой по результатам выполненных поисково-разведочных работ на основе вариантов гидродинамических и технико-экономических расчетов. Количество разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин, попадающих в схему проектируемого водозабора, зависит от степени однородности фильтрационных свойств оцениваемого гори-

зонта и должно составлять в относительно однородных породах 15—20%, а в неоднородных — 40—50% от числа эксплуатационных скважин проектируемого водозабора. В весьма неоднородных породах на месте каждой проектной скважины должна быть пробурена разведочная или разведочно-эксплуатационная скважина [10].

Для месторождений подземных вод, характеризующихся крайней невыдержанностью состава и мощностей водосодержащих пород, целесообразно в местах бурения разведочно-эксплуатационных (разведочных) скважин предварительно проходить картировочные скважины небольшого диаметра (разведочные стволы без обсадки трубами), чтобы обеспечить более целенаправленную их разведку и выявить наиболее рациональную схему будущего водозабора.

Необходимая глубина разведки определяется гидрогеологическими условиями месторождения. Водоносные горизонты небольшой мощности целесообразно вскрывать полностью до водоупорного ложа. В водоносных горизонтах значительной мощности сначала следует получить характеристику изменения фильтрационных свойств и химического состава подземных вод по вертикали (бурение скважин, геофизические исследования, опытно-фильтрационные работы), а затем, исходя из полученных данных, установить оптимальную глубину скважин, обеспечивающую наиболее эффективную работу проектируемого водозабора при заданной его производительности. Глубина бурения разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин на участке водозабора на стадии детальной разведки должна соответствовать проектируемой глубине эксплуатационных скважин [10].

При разведке месторождений подземных вод, находящихся в тесной связи с поверхностными водами, являющимися основным источником формирования эксплуатационных запасов, должен быть проведен цикл гидрологических исследований для установления ресурсов и качества поверхностных вод и их изменения в сезонном и многолетнем разрезах. В результате исследований необходимо получить данные о режиме уровня реки и стока, сведения о мутности и химическом составе поверхностных вод, о деформационных процессах в русле и берегах, о промерзаемости поверхностных водотоков и водоемов, о границах затопления пойм, периодичности затопления и т. п. По данным режима уровня и стока должны быть установлены их максимальные и минимальные значения для лет разной водности, а также внутригодовое распределение стока 95%-ной обеспеченности и года проведения исследований.

Необходимые материалы по гидрологии района получают как при проведении гидрологических исследований на участке разведки, так и в результате сбора и анализа имеющихся материалов по изучаемым рекам и рекам-аналогам. Для увеличения общей продолжительности гидрологических исследований их следует начинать со стадии поисков.

Стационарные гидрогеологические наблюдения за режимом подземных вод (особенно для месторождений грунтовых и неглубоко залегающих напорных вод) следует начинать со стадии предварительной разведки с использованием некоторых водопунктов (см. гл. V, § 2). Период наблюдений должен быть не менее года (при разведке глубокозалегающих напорных горизонтов изучение режима может быть ограничено периодом детальной разведки). Организация гидрогеологических наблюдений на действующих в пределах изучаемых месторождений водозаборах подземных вод обязательна. Обработка и анализ таких данных способствует более обоснованному выбору участков размещения новых водозаборов, их целенаправленному изучению и достоверной оценке эксплуатационных запасов подземных вод.

Детальное освещение вопросов поисков, разведки и оценки эксплуатационных запасов различных типов месторождений подземных вод и соответствующие примеры приводятся в специальных руководствах и работах [3, 4, 9, 15, 20, 21, 25—27].

Группировка месторождений по сложности гидрогеологических условий. Требования к их изученности. Целесообразная степень изученности месторождений подземных вод при их разведке и подготовке для промышленного освоения определяется в зависимости от сложности гидрогеологических условий, а также экономических факторов — затрат средств и времени, требуемых на производство разведочных гидрогеологических работ. Сложность гидрогеологических условий месторождений предопределяет степень обоснованности исходных данных, получаемых при их разведке, и достоверность выполняемых на их основе гидрогеологических прогнозов и оценок. В частности, достоверность прогнозов при оценке эксплуатационных запасов месторождений подземных вод зависит от надежности установления источников формирования эксплуатационных запасов, обоснованности значений расчетных гидрогеологических параметров и сложности гидрохимических условий месторождения, определяющих качество подземных вод в процессе их эксплуатации. Поэтому месторождения подземных вод относят к той или иной группе сложности на основе учета следующих критериев: а) возможности достоверной оценки источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, находящих отражение в граничных условиях пласта, б) степени неоднородности фильтрационных свойств водовмещающих пород, в) сложности гидрохимических условий.

В зависимости от сложности природных условий могут быть выделены месторождения, где все основные источники формирования эксплуатационных запасов устанавливаются надежно, месторождения, в которых часть источников устанавливается надежно, а часть — приближенно, и месторождения, где все источники формирования устанавливаются приближенно.

По степени неоднородности фильтрационных свойств водовмещающих пород водоносные горизонты и комплексы могут быть раз-

делены на условно однородные, неоднородные и весьма неоднородные. Критерием для такого выделения может служить величина среднеквадратичного отклонения логарифма водопроводимости $\sigma_{\lg T}$ или величина коэффициента вариации W в %. Для условно однородных горизонтов $\sigma_{\lg T} \leq 0,2$ или $W \leq 40\%$, для неоднородных $\sigma_{\lg T} = 0,2-0,4$ или $W = 40-80\%$, для весьма неоднородных $\sigma_{\lg T} \geq 0,4$ или $W \geq 80\%$. Для предварительной характеристики степени неоднородности изучаемых горизонтов могут быть использованы данные по удельным дебитам опробованных скважин. При этом следует учитывать, что в однородных пластах максимальные и минимальные удельные дебиты одготипно оборудованных скважин различаются не более чем в 5 раз, в неоднородных — в 5—10 раз и в весьма неоднородных — более чем в 10 раз.

Однородные пласты обычно сложены зернистыми и равномерно трещиноватыми породами со спокойными условиями залегания, неоднородные — неравномерно трещиноватыми и закарстованными породами, а также довольно часто валунно-гравийно-галечными отложениями с разнотернистым по составу заполнителем, весьма неоднородные — крайне неравномерно трещиноватыми и закарстованными породами. Последние развиты чаще в складчатых областях и в пределах древних кристаллических щитов.

Гидрохимические условия месторождений подземных вод могут быть простыми, сложными и очень сложными. В простых гидрохимических условиях источники изменения качества подземных вод отсутствуют либо простота контуров некондиционных вод и однородность среды позволяют дать надежный прогноз качества подземных вод расчетным путем. В сложных гидрохимических условиях границы зон с некондиционным составом вод имеют сложную конфигурацию в плане и разрезе, а водовмещающая среда представлена неоднородными пористыми или равномерно-трещиноватыми породами. Прогноз изменения качества воды может быть выполнен приближенно расчетным путем. На месторождениях сочень сложными гидрохимическими условиями границы зон с различным качеством подземных вод сложны по своей конфигурации, а водоносные горизонты приурочены к неравномерно- и весьма неравномерно-трещиноватым и закарстованным породам. Возможные изменения качества устанавливаются ориентировочно на основе качественного анализа природных условий месторождения.

Анализ опыта оценки эксплуатационных запасов подземных вод и условий эксплуатации действующих водозаборов свидетельствует о том, что в силу разнообразия природных условий и их сложности степень обоснованности получаемых в процессе поисково-разведочных работ и используемых при гидрогеологических прогнозах исходных данных не может быть одинаковой для различных типов месторождений подземных вод, а следовательно, и требования к их изученности и категоризации эксплуатационных запасов должны быть дифференцированными. Об этом свидетельствует и то, что не все факторы, определяющие закономерности формирования

ния эксплуатационных запасов, могут быть установлены в процессе проведения разведочных работ, так как их действие начинает проявляться только в условиях длительной эксплуатации водозаборов (процессы упругого отжатия воды из слабопроницаемых отложений, перетекание, кольтматация отложений, изменение гидрохимической обстановки). Поэтому при постановке и проведении поисково-разведочных работ и категоризации устанавливаемых на их основе эксплуатационных запасов следует учитывать требования, предъявляемые к изученности различных типов месторождений подземных вод и достоверности определения эксплуатационных запасов различных категорий. Эти требования установлены для различных по сложности геолого-гидрогеологических условий месторождений подземных вод, объединяемых в следующие три группы [9—11].

1-я группа. Месторождения с простыми гидрогеологическими, гидрохимическими и геотермическими условиями, со спокойным залеганием водоносных горизонтов, выдержанных по мощности и строению и однородных по фильтрационным свойствам водовмещающих пород. Основные источники формирования эксплуатационных запасов могут быть надежно изучены в процессе разведочных работ и дан обоснованный прогноз изменения качества воды в процессе эксплуатации. Это дает возможность эффективной разведки на месторождениях этой группы запасов высоких категорий. Характерными примерами месторождений этой группы являются месторождения артезианских бассейнов платформенного типа, приуроченного к однородным пластам, месторождения речных долин с обеспеченным питанием подземных вод поверхностными и месторождения конусов выноса и межгорных впадин, а также линзы пресных вод с простой конфигурацией их границ.

2-я группа. Месторождения со сложными гидрогеологическими условиями вследствие невыдержанности мощности и строения водоносных горизонтов и неоднородности фильтрационных свойств водовмещающих пород либо со сложными гидрохимическими или термическими условиями. Часть источников формирования эксплуатационных запасов в процессе разведки может быть установлена лишь приближенно и дан приближенный прогноз изменения качества воды. В таких условиях оценка запасов категории А в большом количестве экономически нецелесообразна. Характерными примерами месторождений 2-й группы являются месторождения: артезианских бассейнов платформенного типа, вскрытые в неоднородных и весьма неоднородных породах, речных долин с периодическим восполнением запасов подземных вод, подрусловых таликов, краевых частей артезианских бассейнов, ограниченных по площади трещинно-карстовых структур, воды в которых связаны с реками, флювиогляциальных межморенных отложений и линз пресных вод в сложных гидрогеохимических условиях.

3-я группа. Месторождения с очень сложными гидрогеологическими условиями вследствие высокой изменчивости мощности и строения водоносных горизонтов и фильтрационных свойств водовмещающих пород или ограниченного (очагового) распространения водоносных горизонтов, а также месторождения с весьма сложными гидрохимическими и геотермическими условиями. К этой же группе относятся месторождения, эффективная разработка которых возможна лишь при искусственном подпитывании водозаборов или применении сложных водозаборных сооружений, что требует осуществления при разведке строительства разведочно-экспериментального водозабора. Источники формирования эксплуатационных запасов месторождений 3-й группы в процессе разведочных работ могут быть изучены лишь приближенно, а возможные изменения качества воды установлены ориентировочно. В таких условиях выявление при детальной разведке эксплуатационных запасов категории *A* нецелесообразно вследствие высокой стоимости и низкой эффективности разведки, следует ориентироваться в основном на запасы категории *B* и частично *C₁*.

Примерами месторождений 3-й группы могут быть месторождения трещинно-карстовых и трещинно-жильных вод, не связанные с реками, сквозных таликов в области развития многолетнемерзлых пород, месторождения краевых частей артезианских бассейнов в весьма неоднородных по фильтрационным свойствам горизонтах с неявно выраженными источниками формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

Не исключено, что в зависимости от конкретных гидрогеологических условий месторождения одного и того же типа могут быть отнесены к разным группам по сложности их условий. При этом основным критерием является возможная степень достоверности определения основных источников формирования эксплуатационных запасов (границных условий пластов).

Наиболее высокая достоверность оценки эксплуатационных запасов подземных вод может быть обеспечена для месторождений 1-й группы, наименьшая — для 3-й группы. Это обстоятельство дает основания для дифференцирования требований к соотношению эксплуатационных запасов подземных вод различных категорий, устанавливаемых в результате разведки различающихся по сложности гидрогеологических условий месторождений подземных вод. Классификацией ГКЗ СССР (11) установлены следующие соотношения различных категорий эксплуатационных запасов (в %), которые необходимо обеспечить в результате разведки различных по сложности место-

Таблица 3

Группа месторождений по сложности гидрогеологических условий	Обеспеченность запасов различных категорий, %		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C₁</i>
1-я	40	40	20
2-я	20	60	20
3-я	—	70	30

рождений для удовлетворения первоочередной потребности в воде при проектировании водозаборов подземных вод.

Запасы для удовлетворения перспективной потребности в воде должны быть разведаны не ниже категории C_1 . Возможность промышленного освоения месторождений при меньших по сравнению с указанными соотношениями запасов разведанных категорий допустима лишь с разрешения ГКЗ СССР. Более детально требования к изученности месторождений подземных вод при их разведке изложены в соответствующих нормативных и методических руководствах [8—11].

§ 3. Техничко-экономические обоснования при гидрогеологических исследованиях для целей водоснабжения

Техничко-экономические расчеты при гидрогеологических исследованиях для водоснабжения выполняются с целью обоснования наиболее рационального комплекса необходимых исследований, определения экономической эффективности выполненных гидрогеологических исследований, сопоставительной оценки технико-экономических условий эксплуатации по различным вариантам водоснабжения (различающимся по источнику водоснабжения, по местоположению эксплуатационного участка, по схеме размещения и количеству водозаборных скважин и другим показателям устройства и эксплуатации водозабора), выбора наиболее рационального варианта организации водоснабжения и эксплуатации месторождения подземных вод, оценки основных технико-экономических показателей и экономической эффективности по обоснованному, для проектирования варианту водоснабжения. Аспекты определения экономической эффективности поисково-разведочных на воду работ рассмотрены ранее (см. гл. I, § 6), поэтому здесь имеет смысл остановиться только на вопросах технико-экономической оценки проектных вариантов, их сопоставлении и определении экономической эффективности.

Техничко-экономическая оценка проектных (или возможных) вариантов организации водоснабжения заключается в определении их основных технико-экономических абсолютных или относительных (сопоставительных) показателей.

Необходимость в определении абсолютных технико-экономических показателей возникает при оценке общей экономической эффективности проектируемого мероприятия, при обосновании целесообразности его осуществления либо при технико-экономической оценке принятого проектного варианта. Например, при геолого-промышленной оценке месторождения подземных вод, при обосновании целесообразности его промышленного освоения или при определении технико-экономических показателей окончательно принятой системы водоснабжения необходимо пользоваться абсолютными технико-экономическими показателями. При этом должен быть обеспечен учет и экономическая оценка влияния всех

факторов по рассматриваемому варианту проектируемого мероприятия.

Необходимость в сопоставительных (относительных) технико-экономических показателях возникает при определении сравнительной экономической эффективности различных вариантов одного и того же проектируемого мероприятия и выборе наиболее оптимального из них по экономической эффективности.

При этом учет и экономическая оценка влияния всех факторов по сопоставляемым вариантам проектируемого мероприятия не являются обязательными. Они необходимы лишь для факторов, степень и характер влияния которых различаются по сопоставляемым вариантам. Так, нет необходимости в точной экономической оценке затрат, связанных с транспортировкой воды и ее подачей потребителю, если технико-экономическому сопоставлению подвергаются варианты водозабора подземных вод в пределах одного и того же эксплуатационного участка, различающиеся лишь схемой расположения скважин или способом их эксплуатации. Очевидно, что эти затраты будут одинаковыми для рассматриваемых вариантов водозабора и не повлияют на результаты их технико-экономического сопоставления.

Использование сопоставительных технико-экономических показателей позволяет определять не только наиболее экономичный вариант проектируемого инженерного сооружения в целом, но и выбрать наиболее экономичные решения по отдельным его звеньям (водозабору, системе сбора и транспортировки воды, зоне санитарной охраны и т. п.).

К основным технико-экономическим показателям, используемым при сопоставлении проектных вариантов системы водоснабжения (или отдельных ее звеньев) относятся объем капиталовложений K , характеризующий затраты на строительство системы (строительная стоимость), и эксплуатационные расходы $\mathcal{E}$, определяющие затраты на эксплуатацию ее в течение года. Наряду с годовыми эксплуатационными издержками целесообразно определять и удельные эксплуатационные расходы C , относимые к 1 м^3 получаемой воды, т. е. себестоимость получения воды, а при различной производительности водозаборных сооружений по рассматриваемым вариантам — и удельные капиталовложения.

Методика определения размеров капиталовложений, эксплуатационных затрат и себестоимости получения воды при решении задач водоснабжения достаточно детально рассмотрена в специальной литературе [1, 9, 26]. Следует лишь отметить, что при определении капиталовложений учитываются также затраты на сооружение и оборудование скважин и зон санитарной охраны, на строительство зданий, сооружений, дорог, наземных коммуникаций и других объектов системы водоснабжения. При определении эксплуатационных расходов подлежат учету отчисления от всех видов капиталовложений на амортизацию, текущий и капитальный ремонт, зарплата обслуживающему персоналу со всеми видами отчислений,

затраты на электроэнергию и прочие виды эксплуатационных затрат.

Приемы определения экономической эффективности планируемых мероприятий многообразны, но всегда они должны соответствовать основным положениям типовой методики определения экономической эффективности капиталовложений в народном хозяйстве. В соответствии с этой методикой для определения целесообразности и экономической эффективности эксплуатации подземных вод следует использовать показатели как общей, так и сравнительной экономической эффективности капиталовложений: первые главным образом для оценки рентабельности организации водоснабжения как мероприятия, вторые — для обоснования выбора наиболее рационального варианта осуществления этого мероприятия.

Для обоснования целесообразности капиталовложений в организацию водоснабжения следует использовать либо коэффициент общей экономической эффективности E , либо обратный ему показатель — срок окупаемости капиталовложений T , определяемые с учетом условной отпускной цены на воду Π , себестоимости получения воды C_i и затрачиваемых капиталовложений K_i по всем рассматриваемым вариантам:

$$E_i = \frac{365Q_i(\Pi - C_i)}{K_i} \text{ или } T_i = \frac{K_i}{365Q_i(\Pi - C_i)}. \quad (\text{IX.2})$$

Наиболее целесообразна организация водоснабжения по варианту, обеспечивающему максимальный коэффициент общей экономической эффективности, либо минимальный срок окупаемости капиталовложений. При совпадении указанных показателей по двум сопоставляемым вариантам следует учитывать другие показатели (суммарную производительность водозабора Q_i , перспективы развития и технические условия организации водоснабжения, производительность труда и т. д.).

При одинаковой суммарной производительности водозаборных сооружений по всем рассматриваемым принципиальным вариантам организации водоснабжения (либо при рассмотрении возможных решений поставленной задачи в пределах уже выбранного на основании приведенных выше формул варианта водоснабжения) возможно их прямое сопоставление по величине капиталовложений K и эксплуатационных затрат Σ . Например, могут рассматриваться несколько вариантов организации водоснабжения одного и того же объекта с расположением водозабора на разных эксплуатационных участках или с разной схемой расположения скважин и т. д.

Экономически наиболее эффективным в таких условиях является вариант, обеспечивающий организацию водоснабжения объекта при минимальных капиталовложениях на строительство системы водоснабжения и минимальных затратах на ее эксплуатацию. Однозначное решение такой задачи, однако, не всегда возможно,

так как на практике нередко менее капиталоемкие варианты организации водоснабжения требуют более существенных эксплуатационных затрат, и наоборот. Поэтому сопоставление вариантов, различающихся по размерам капиталовложений и эксплуатационных затрат (например, для двух вариантов при $K_1 > K_2$ и $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$), целесообразно проводить, используя показатели сравнительной экономической эффективности: срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{дк}}$, коэффициент сравнительной экономической эффективности $E_{\text{дк}}$ и приведенные затраты $\mathcal{Z}_\text{п}$.

Превышение в капиталовложениях соизмеряется с экономией от снижения себестоимости. Соизмерение осуществляется следующими методами.

1. *Сравнение вариантов по коэффициенту экономической эффективности.* Коэффициент экономической эффективности определяется по формуле

$$E_{\text{дк}} = \frac{(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}{(K_1 - K_2)} = \frac{365Q_{\text{г}}(C_2 - C_1)}{(K_1 - K_2)}, \quad (\text{IX.3})$$

где $Q_{\text{г}}$ — суммарный водоотбор, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Таким образом, коэффициент экономической эффективности представляет собой отношение разницы в годовых эксплуатационных расходах или экономии по себестоимости за год к разнице в капиталовложениях по сравниваемым вариантам. Сравнивая полученный по формуле (IX.3) коэффициент экономической эффективности $E_{\text{дк}}$ с нормативным коэффициентом $E_{\text{н}}$, определяют наиболее эффективный вариант. Так, для предложенного выше примера сравнения двух вариантов ($K_1 > K_2$, $C_1 < C_2$) при $E_{\text{дк}} > E_{\text{н}}$ первый вариант является более эффективным, так как сравнительный коэффициент его экономической эффективности выше нормативного. При $E_{\text{дк}} < E_{\text{н}}$ более эффективен второй вариант и при $E_{\text{дк}} = E_{\text{н}}$ — сравниваемые варианты экономически равноценны. Подобным образом можно сравнивать любое количество вариантов, каждый раз сравнивая найденный лучший вариант со следующим. Действующий в настоящее время отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности в водном хозяйстве $E_{\text{дк}} = 0,12$.

2. *Сравнение вариантов по сроку окупаемости.* Срок окупаемости дополнительных капиталовложений для сравниваемых вариантов является величиной, обратной коэффициенту сравнительной экономической эффективности (см. формулу IX.3).

Методика определения оптимального варианта сравнением по сроку окупаемости аналогична изложенной выше. Сравниваемый вариант считается наилучшим, если срок окупаемости $T_{\text{дк}}$ меньше нормативного $T_{\text{н}}$ и т. д. Нормативный срок окупаемости в водном хозяйстве $T_{\text{н}} = 8-8,5$ лет (12).

3. *Сравнение вариантов по приведенным затратам.* Этим методом можно из любого числа сравниваемых вариантов найти оптимальный по наименьшим затратам. Для определения «приведен-

ных затрат» используются нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности E_n и отраслевой нормативный срок окупаемости T_n . Приведенные затраты Z_n определяются по следующим формулам:

$$Z_{n,i} = K_i + \mathcal{E}_i T_n = K_i + 365 Q_{\Sigma} T_n C_i; \quad (IX.4)$$

$$Z_{n,i} = \mathcal{E}_i + E_n K_i = 365 Q_{\Sigma} C_i + E_n K_i, \quad (IX.5)$$

где K_i — капиталовложения по рассматриваемому i варианту, руб.; C_i — себестоимость добычи 1 м³ воды по тому же варианту, руб.

Формула (IX.4) представляет собой сумму капиталовложений и эксплуатационных затрат на добычу воды за нормативный срок окупаемости. Формула (IX.5) отражает годовой экономический эффект по рассматриваемому варианту.

Наилучший из сравниваемых вариантов — вариант с наименьшими приведенными затратами. Выбор оптимального варианта можно проводить как на основе использования формулы (IX.4), так и на основе формулы (IX.5), а также при их совместном использовании по общей сумме приведенных затрат.

Сопоставление вариантов по приведенным затратам — более удобный метод, так как позволяет одновременно сопоставить любое число конкурирующих вариантов и расположить их по экономической эффективности. Экономически наиболее эффективным является вариант с минимальной величиной приведенных затрат.

Показатели сравнительной экономической эффективности могут быть использованы, если рассматриваемые варианты организации водоснабжения сопоставимы по производительности водозаборных сооружений и продолжительности их осуществления. При различной производительности водозаборных сооружений следует учитывать не общие, а удельные капиталовложения (приходящиеся на 1 м³ годовой производительности водозабора). При сравнении вариантов, различающихся по времени их осуществления, размеры капиталовложений должны быть приведены к одному и тому же сроку [1].

Для выбранного любым из указанных выше методов варианта определяется годовой экономический эффект $\mathcal{E}_r$ по разности приведенных затрат между выбранным и конкурирующим вариантом (обозначен индексом 1):

$$\mathcal{E}_r = Z_{n,1} - Z_{n,2} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + E_n (K_1 - K_2), \quad (IX.6)$$

где $E_n (K_1 - K_2)$ — экономия капиталовложений, приходящаяся на один год нормативного срока окупаемости.

Более детально методика сопоставления проектных вариантов по показателям сравнительной экономической эффективности при решении задач водоснабжения изложена в работах [1, 9, 12, 26].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОХРАНЫ И ПОПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Вопросам охраны и рационального использования водных и других природных ресурсов в нашей стране всегда придавалось важное значение. Особую актуальность эти вопросы приобретают на современном этапе развития народного хозяйства в условиях активного воздействия хозяйственной деятельности человека на природу и ее ресурсы, интенсивного роста потребления водных и других природных ресурсов, всемерного возрастания роли водных ресурсов и превращения их в один из факторов, определяющих размещение и развитие производительных сил, рост культурного уровня и материального благосостояния народа. Проблема охраны и рационального использования подземных вод является в настоящее время важной составной частью глобальной проблемы охраны окружающей среды не только в рамках нашей страны, но и в мировом масштабе. О важности этой проблемы свидетельствует тот факт, что Организация Объединенных Наций объявила 1981—1990 годы Международным десятилетием питьевой воды.

В настоящее время в СССР использование и охрана водных ресурсов регламентируются законами «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик» (введены в действие с 1 сентября 1971 г.) и «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» (введены в действие с 1 января 1976 г.), устанавливающими правила и порядок планомерного комплексного и рационального использования водных ресурсов и охраны от загрязнения и истощения.

С 1974 г. в нашей стране разрабатываются перспективные и годовые планы по рациональному использованию и охране водных и других природных ресурсов, являющиеся обязательными и неотъемлемыми составными частями перспективных и годовых планов развития народного хозяйства. В соответствии с «Основами водного законодательства» созданы постоянные органы государственного надзора за использованием и охраной водных ресурсов через систему территориальных бассейновых инспекций, введена единая система государственного учета вод и их использования. Однако, в деле рационального использования и охраны водных ресурсов как подземных, так и поверхностных еще немало трудностей и нерешенных проблем.

В целях координации природоохранной деятельности в стране создан Государственный комитет СССР по охране природы (Госкомприрода), который осуществляет также и государственный контроль за рациональным использованием и охраной подземных и поверхностных вод. Готовится новый закон СССР об охране природы, разрабатывается Долгосрочная государственная программа охраны окружающей среды и рационального использо-

вания природных ресурсов СССР на тринадцатую пятилетку и на перспективу до 2005 года. Предусматривается переход к преимущественно экономическим методам управления природоохранными мероприятиями. В частности будут введены экономические нормативы платы за водные ресурсы и за выбросы загрязняющих веществ в природную среду, что позволит увязывать конечные результаты работы предприятий с эффективностью проводимых ими природоохранных мероприятий и мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов и таким образом стимулировать их водоохранную деятельность.

Охрана подземных вод включает: 1) строгое соблюдение законодательных актов об охране природы и вод при всех видах строительства и другой деятельности человека; 2) осуществление технических и технологических мер, направленных на предотвращение или ликвидацию вредного воздействия проектируемых, строящихся и действующих объектов на водные ресурсы, создание безотходных производств, рационализацию водопотребления (режим экономии, системы повторного и замкнутого водоснабжения), сокращение промышленных отходов, выбросов и сточных вод, разработку эффективных методов очистки и обезвреживания отходов, рекультивацию загрязненных почв и т. п.; 3) соблюдение требований к порядку проведения разведки подземных вод, проектированию, строительству и эксплуатации водозаборных сооружений; 4) осуществление собственно водоохраных мероприятий как профилактических (контроль и наблюдения за состоянием подземных вод, размещение проектируемых объектов с учетом их возможного воздействия на окружающую среду и естественной защищенности подземных вод, строгое соблюдение зон санитарной охраны водозаборов подземных вод, выявление, оценка и учет источников загрязнения подземных вод и т. д.), так и специальных (полная ликвидация или локализация области загрязнения путем откачки загрязненных вод, создания защитных гидравлических или непроницаемых завес, стенок или экранов и т. д.).

Среди многочисленных и разносторонних мероприятий, обеспечивающих рациональное использование подземных вод и их охрану от загрязнения и истощения, особая роль отводится гидрогеологическому обоснованию санитарной охраны водозаборов и искусственному пополнению запасов подземных вод.

§ 1. Гидрогеологические исследования в связи с оценкой и прогнозом качества подземных вод

При разведке и геолого-промышленной оценке месторождений подземных вод основной целью выполняемых гидрогеологических исследований является изучение количества, качества и условий эксплуатации подземных вод (или их регулирования). Исследования по изучению качества подземных вод должны обеспечить: 1) выявление и оценку химического и санитарно-бактериологиче-

ского состава подземных вод в естественных условиях их залегания; 2) прогноз изменения качества вод в процессе их эксплуатации (в условиях нарушенного режима); 3) гидрогеологическое обоснование организации и содержания зон санитарной охраны водозаборов как средства, обеспечивающего необходимое качество подземных вод при их эксплуатации.

Выявление и оценка химического и санитарно-бактериологического состава подземных вод осуществляются в процессе поисково-разведочных работ на основе качественного опробования предполагаемых к использованию водоносных горизонтов и выполнения определенных видов лабораторных анализов (см. гл. VI, § 2). Виды и объемы лабораторных анализов и гидрохимических исследований должны быть достаточными для выявления основных показателей химического и бактериального состава и физических свойств подземных вод изучаемого месторождения и установления степени соответствия этих показателей предъявляемым к качеству воды требованиям (см. гл. VI § 1).

Требования к качеству воды хозяйственно-питьевого назначения определяются в нашей стране государственным стандартом ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» (см. гл. VI, § 2). Им же регламентируются мероприятия по контролю за качеством воды на действующих водозаборах.

Выбор и оценка источников производственно-технического водоснабжения осуществляются на основе учета требований, предъявляемых потребителем (заказчиком), или установленных соответствующими нормами, техническими условиями и стандартами. В зависимости от технологии предприятия, назначения и характера использования воды требования к ее качеству могут быть самыми разнообразными. Чаще они касаются таких показателей качества воды, как температура, общая жесткость, накипеобразование, агрессивность, коррозия, вспенивание, щелочность, общая минерализация, механические взвеси и др.

Как уже говорилось, в соответствии с действующими положениями использование подземных вод питьевого качества для других целей не допускается (исключения возможны в районах отсутствия поверхностных вод и наличия достаточно больших запасов подземных вод). Вместе с тем отказ от использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения должен быть соответствующим образом обоснован [7, 17].

Соответствие качества подземных вод предъявляемым требованиям, установленное в естественных условиях их залегания, еще не определяет возможности и целесообразности их использования для целей водоснабжения. Оценка качества подземных вод различного назначения необходимо проводить с учетом прогноза возможного его изменения в процессе эксплуатации подземных вод.

Характер и условия возможного изменения качества подземных вод могут быть различными в зависимости от защищенности наме-

чаемого к эксплуатации водоносного горизонта, его границ и граничных условий в плане и в разрезе, наличия или отсутствия естественного потока подземных вод, положения и характера очагов загрязнения, сложности гидрохимических условий, интенсивности водоотбора, неоднородности области фильтрации и других факторов. Возможны изменения физических свойств, химического и бактериального состава подземных вод либо их отдельных показателей в результате бактериального (микробного), химического и, реже, радиоактивного, теплового и механического загрязнений.

Как показывает опыт эксплуатации действующих водозаборов, основными источниками загрязнения подземных вод являются участки: а) скопления бытовых и промышленных сточных вод; б) скопления твердых отходов и загрязненные территории промышленных производств; в) дефектных канализационных сетей; г) складирования и хранения нефтепродуктов и химической продукции; д) самоизлива минерализованных вод из глубоких скважин; е) сельскохозяйственных полей орошения сточными водами и интенсивного применения удобрений и ядохимикатов; ж) сброса и захоронения сточных вод; з) нижележащих горизонтов минерализованных вод (перетоки по затрубному кольцу); и) загрязненных поверхностных водоисточников, гидравлически связанных с подземными водами. Наиболее уязвимыми для загрязнения оказываются неглубоко залегающие грунтовые воды. Источники загрязнения напорных вод ограничиваются перечисленными в пунктах ж, з, и.

Прогноз изменения качества подземных вод на водозаборах при наличии в пластах загрязненных или природных некондиционных вод включает определение: 1) возможности захвата загрязненных вод областью питания водозабора; 2) времени подтягивания загрязненных вод к участку водозабора или пути их продвижения в водоносном пласте; 3) изменения качества воды во времени после начала подтягивания загрязненных вод к водозабору. Эффективное решение указанных задач невозможно без тщательного изучения санитарных, гидрогеологических и гидрохимических условий месторождения подземных вод, без выявления очагов загрязнения подземных вод и установления факторов, определяющих характер и интенсивность изменения их качества во времени. При этом особое внимание уделяется таким вопросам, как оценка естественной защищенности подземных вод (наличие перекрывающих и подстилающих водоупорных и слабопроницаемых толщ, их мощности и фильтрационные свойства, строение и защитные свойства зоны аэрации), выявление и оценка возможных источников и путей загрязнения подземных вод, исследование процессов миграции загрязняющих веществ в подземные воды и определение гидрогеологических и физико-химических параметров, необходимых для прогнозов миграции и изменения качества подземных вод при их эксплуатации (кроме основных гидрогеологических

параметров водоносного горизонта определяются мощности, коэффициенты фильтрации и активная пористость водоносных и защищающих горизонт пород, а также действительная скорость фильтрации, коэффициенты гидродисперсии D и молекулярной диффузии D_m , параметры сорбции — коэффициент распределения β , эффективная пористость n_e).

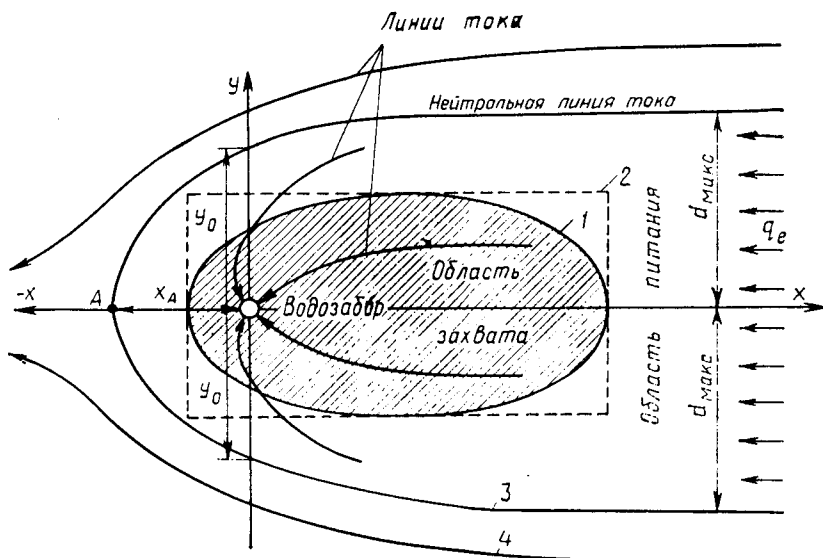


Рис. 41. Схема питания водозабора в неограниченном пласте:

1 — область захвата водозабора, 2 — схематизированная область захвата водозабора, 3 — нейтральная линия тока, ограничивающая область питания водозабора (x_A , y_0 , $d_{\max}$ — параметры области питания, определяемые расчетом), 4 — линии токов вне области питания водозабора

Возможность захвата загрязнений устанавливается положением очагов и зон загрязнений относительно областей питания и захвата водозаборного сооружения (рис. 41). При наличии загрязнений вне области питания водозабора — загрязнение подземных вод при его эксплуатации исключается. Если воды некондиционного состава находятся в пределах области питания, существует принципиальная возможность их поступления в водозабор (время поступления зависит от срока и интенсивности эксплуатации водозабора и расстояния от него до контура загрязненных вод. Поступление возможно, если время подтягивания загрязнений меньше срока эксплуатации водозабора). Если же загрязненные воды расположены в области захвата водозабора, их поступление неминуемо в процессе эксплуатации водозабора (рис. 41). Положение границ областей питания и захвата водозаборов устанавливается в простых гидрогеологических условиях путем аналитических расчетов [5, 7, 16, 26], в сложных и очень

сложных условиях — на основе моделирования и графоаналитических построений.

Виды, объемы и содержание исследований для изучения качества подземных вод и их прогнозной оценки устанавливаются на каждом конкретном участке дифференцированно в зависимости от сложности гидрогеологических, гидрохимических и санитарных условий месторождения или его участка и состава информации, необходимой для выполнения обоснованного прогноза качества воды при эксплуатации проектируемого водозабора.

На месторождениях с простыми (благоприятными) гидрохимическими и санитарными условиями (повсеместное распространение пресных вод высокого качества, отсутствие источников возможного загрязнения подземных вод, благоприятные санитарная обстановка и условия для организации зон санитарной охраны и т. п.), где нет оснований ожидать изменения качества подземных вод при их эксплуатации, можно ограничиться отбором дежурных и представительных проб воды для оценки и контроля химического и бактериального состава вод и минимальным объемом исследований для обоснования и установления зон санитарной охраны.

На месторождениях со сложными гидрохимическими и санитарными условиями (залегание пресных вод на контакте в плане или в разрезе с водами повышенной минерализации, содержание в подземных водах агрессивных к металлам газов, связь подземных вод с загрязненными водами поверхностных водоемов, наличие на площади месторождения источников возможного загрязнения подземных вод, неблагоприятные условия для организации зон санитарной охраны и т. п.), где возможны существенные изменения показателей качества воды в процессе эксплуатации водозаборных сооружений, помимо комплекса работ по изучению качества вод в естественных условиях необходимо проводить специальные гидрогеологические и гидрохимические исследования по детальному изучению условий распространения и взаимодействия пресных и минерализованных (или загрязненных) вод, выявлению закономерностей формирования состава подземных вод при работе водозаборных сооружений, изучению характера неоднородности и его влияния на условия фильтрации вод различного состава и миграцию загрязнений, уточнение характера граничных условий и их оценки в гидрохимическом отношении, установлению оптимального расположения и режимов эксплуатации водозаборных скважин, обоснованию мероприятий по предотвращению или уменьшению загрязнения подземных вод. В частности, для определения миграционных параметров следует выполнять специальные полевые опытно-миграционные работы и эксперименты, в том числе индикаторные методы (см. гл. VI, § 6), позволяющие не только определять миграционные параметры (действительную скорость фильтрации, активную и эффективную пористости, коэффициент гидродисперсии D), но и выявлять пути движения и скоро-

сти распространения загрязнений, условия взаимосвязи горизонтов, а также лабораторные опыты (главным образом для определения параметров физико-химического взаимодействия загрязнений с подземными водами и горными породами).

Еще более значительный комплекс специальных исследований может потребоваться для изучения качества воды и их прогнозной оценки на месторождениях с очень сложными гидрохимическими и санитарными условиями (пестрый химический состав подземных вод в плане и в разрезе, наличие источников и очагов загрязнения подземных вод, резкая фильтрационная неоднородность водоносных отложений, неблагоприятные условия для организации зон санитарной охраны, активная гидравлическая связь подземных вод с загрязненными поверхностными и т. п.). В такой обстановке основное внимание уделяется обоснованию оптимального по условиям сохранения качества воды режима эксплуатации и состава мероприятий, необходимых для защиты водозабора от загрязнения. При этом может оказаться необходимым (помимо опытно-фильтрационных и опытно-миграционных работ) проведение специальных натурных исследований и наблюдений на опытно-производственных полигонах и участках, выполнение длительных опытно-эксплуатационных откачек, лабораторных работ, наблюдений за режимом, газометрических, геофизических, индикационных и других исследований [5, 7, 9, 16, 23].

Таким образом, изучение миграции загрязняющих веществ в подземных водах имеет первостепенное значение при прогнозных оценках качества воды, при обосновании зон санитарной охраны и специальных защитных мероприятий по предотвращению, либо уменьшению загрязнения подземных вод. Ввиду того что миграция загрязняющих веществ в водоносных горизонтах зависит от многих факторов, теоретический учет которых в их совокупности невозможен, а в лабораторных условиях затруднителен, первостепенное значение приобретают натурные исследования и полевые опытно-миграционные работы. При этом наиболее достоверную информацию обеспечивают натурные исследования (изучение загрязнений подземных вод, связанных с реальными производственными источниками загрязнения — шламонакопителями, отстойниками, полями фильтрации и орошения, хвостохранилищами и т. п.), осуществляемые на специальных опытно-производственных полигонах. Полевые опытно-миграционные работы (имитация загрязнений, наблюдения за трассерами и индикаторами) более эффективны в трещиноватых коллекторах и не всегда целесообразны, особенно при малой длительности опытов, в комплексах пористых пород (из-за масштабных эффектов, связанных с литологической и фильтрационной неоднородностью среды). В последнем случае более целесообразны лабораторные исследования, как для определения миграционных параметров, так и для изучения физико-химического взаимодействия загрязняющих веществ с подземными водами и породами.

Целесообразным является проведение специальных гидрогеологических исследований (в рамках выполняемых инженерных изысканий) при проектировании любых объектов, которые могут быть в последующем источниками загрязнения подземных вод.

Вопросам изучения и оценки качества подземных вод уделяется внимание уже в процессе поисков и выбора источника водоснабжения. Однако основной объем исследований, обеспечивающих прогнозную оценку качества воды и обоснование состава мероприятий по их санитарной охране, выполняется на стадиях предварительной и детальной разведок (санитарное обследование участка, специальные гидрогеологические, гидрохимические, лабораторные, санитарные и другие исследования). Одним из важнейших мероприятий, обеспечивающих сохранение качества подземных вод при их эксплуатации, является организация зон санитарной охраны водозаборов подземных вод.

§ 2. Гидрогеологическое обоснование зон санитарной охраны водозаборов подземных вод

В соответствии с действующими положениями на всех водозаборах подземных вод хозяйственно-питьевого назначения должны предусматриваться зоны санитарной охраны, обоснование которых является необходимой составной частью проекта водозаборных сооружений [5, 7, 23—25]. Проект зоны санитарной охраны водозабора подземных вод должен быть обоснован материалами специальных гидрогеологических, гидрохимических и санитарных исследований, выполняемых в процессе разведки месторождения, и согласован с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Состав информации, необходимой для его обоснования, является примерно таким же, который необходим для прогнозной оценки качества подземных вод. Проект должен включать обстоятельный анализ гидрогеологических, гидрохимических и санитарных условий эксплуатационного участка, обоснованные рекомендации по установлению зоны санитарной охраны и проведению мероприятий по охране и санитарному оздоровлению источников водоснабжения.

При определении размеров зоны санитарной охраны и необходимых защитных мероприятий учитываются гидрогеологические условия месторождений подземных вод и, в частности, естественная защищенность подземных вод от поверхностного загрязнения (наличие перекрывающих слабопроницаемых отложений). В количественном отношении степень защищенности оценивается по времени движения загрязнений от поверхности земли до кровли эксплуатируемого горизонта через толщу перекрывающих пород. Защищенными являются горизонты, время движения загрязнений до которых превышает расчетный срок выживаемости бактерии при опасности микробного заражения, расчетный срок эксплуатации водозабора при опасности стабильного химического загрязнения либо расчетный срок распада загрязняющих веществ при

неустойчивых загрязнениях. Имеются предложения по качественной и количественной оценке защищенности подземных вод от загрязнения, которые могут быть приняты за основу при гидрогеологических исследованиях и картировании условий защищенности подземных вод от различных загрязнений. Если залегающая над водоносным горизонтом толща пород не обеспечивает защищенность подземных вод от поверхностного загрязнения, то защита водозабора в пределах зон санитарной охраны реализуется проведением специальных мероприятий.

В соответствии с новым «Положением о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения» (№ 2640—82) для водозаборов подземных вод необходимо устанавливать три пояса зоны санитарной охраны: первый пояс — пояс строгого режима, второй и третий — пояса ограничений.

Пояс строгого режима служит для исключения случайного или умышленного загрязнения воды в пределах участка расположения водозаборных и водопроводных сооружений. Его граница устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора — при использовании защищенных подземных вод и на расстоянии не менее 50 м — при использовании недостаточно защищенных подземных вод. В благоприятных санитарно-технических условиях разрешается уменьшение размеров первого пояса до 15 и 20 м соответственно. Для инфильтрационных водозаборов в пояс строгого режима включается прибрежная территория между водозабором и водоемом (если расстояние между ними не превышает 150 м). Для водозаборов с искусственным пополнением подземных вод граница первого пояса устанавливается на расстоянии не менее 50 м от водозабора и на расстоянии не менее 100 м от инфильтрационных сооружений. Территория пояса строгого режима благоустраивается, ограждается и обеспечивается охраной, запрещаются все виды строительства и работы, не связанные с эксплуатацией водозабора.

Второй и третий пояса предназначены соответственно для защиты подземных вод от микробного и химического загрязнений. Их границы устанавливаются с учетом санитарных, гидрогеохимических и гидрогеологических условий и обосновываются расчетами, подтверждающими сохранение качества воды на уровне предъявляемых требований в течение расчетного срока эксплуатации водозабора при условии выполнения определенного комплекса мероприятий и поддержания соответствующего режима в зоне санитарной охраны водозабора.

В пределах территории поясов ограничений регулируются и контролируются строительные и горно-буровые работы, запрещается закладка и подземное складирование сточных вод и производственных отходов, а также строительство и размещение объектов, которые могут явиться источником микробного (во втором поясе) и химического (в третьем поясе) загрязнений подземных вод, лик-

видируются некачественно пройденные и неиспользуемые скважины, осуществляется общее благоустройство территории и проводятся мероприятия по поддержанию в ней благоприятной санитарной обстановки. Соответствующие водоохранные мероприятия предусматриваются также на реках и водоемах, входящих в зону санитарной охраны водозабора.

Расстояние до границы второго пояса должно быть таким, чтобы расчетное время движения микробных загрязнений с потоком к водозабору T_m было больше срока выживаемости бактерий в условиях подземного потока (принимается 200—400 сут в зависимости от гидрогеологических и климатических условий). Положение границ третьего пояса определяется гидродинамическими расчетами исходя из условия, что если за ее пределами в водоносный пласт поступят химические загрязнения, они или не достигнут водозабора, перемещаясь с подземными водами вне области питания, или достигнут водозабора, но не ранее расчетного времени T_x , которое должно быть больше проектного срока эксплуатации водозабора. В условиях ограниченного срока эксплуатации водозабора границы третьего пояса определяются размерами области захвата водозабора, при неустойчивом химическом загрязнении они могут быть меньше области захвата, если время распада загрязняющих веществ меньше срока эксплуатации водозабора. При неограниченном сроке эксплуатации водозабора и устойчивом химическом загрязнении границы третьего пояса зоны санитарной охраны устанавливаются по нейтральной линии тока, ограничивающей область питания водозабора при его эксплуатации (см. рис. 41), что полностью исключает возможность химического загрязнения подземных вод.

Методы гидрогеологического обоснования размеров зон санитарной охраны (аналитические и графоаналитические) детально рассмотрены в работах [5, 7, 9, 23 и др.]. В сложных гидрогеологических, гидрохимических и санитарных условиях обоснование положения границ поясов ограничений целесообразно выполнять с помощью моделирования. Для определения расчетных параметров миграции загрязненных подземных вод может возникнуть необходимость в специальных опытно-фильтрационных работах, физико-химических лабораторных и натурных опытах по изучению процессов сорбции и самоочищения и других видах исследований. Вопросы гидрогеологических исследований очагов загрязнения подземных вод и обоснования мероприятий по защите водозаборов подземных вод от загрязнений рассмотрены в работах [5, 7, 16, 23].

§ 3. Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод

Неравномерность площадного распределения водных ресурсов, неуклонный рост водопотребления, значительная загрязненность поверхностных вод, интенсификация отбора подземных вод в экономически наиболее развитых районах, имеющийся дефицит пресных

вод питьевого качества и другие факторы вызывают необходимость применения методов искусственного пополнения и регулирования запасов подземных вод.

По своему характеру искусственное пополнение подземных вод — инженерное мероприятие, заключающееся в обеспечении благоприятных условий для перевода части поверхностного стока в подземный, мероприятие многоплановое, обеспечивающее не только пополнение запасов подземных вод и их охрану от истощения, но и наиболее полное комплексное и рациональное использование и охрану водных, земельных и других природных ресурсов. В частности, искусственный перевод поверхностных вод в подземные может осуществляться в целях увеличения производительности эксплуатируемых или намечаемых к эксплуатации водозаборов и водоносных горизонтов, стабилизации условий работы действующих водозаборов и предотвращения дальнейшего роста их депрессионных воронок и загрязнения, накопления в подземных коллекторах значительных запасов питьевой воды на период временного заражения поверхностных источников водоснабжения, улучшения качества инфильтруемых через породы зоны аэрации поверхностных вод и разбавляемых инфильтрационными водами подземных вод, частичного регулирования поверхностного стока и обеспечения наиболее благоприятных условий для его последующего использования, улучшения мелиоративного состояния и охраны окружающих земель и повышения эффективности их народнохозяйственного освоения, а также при решении некоторых других задач [16, 20—22].

Искусственное пополнение запасов подземных вод является, таким образом, водохозяйственным мероприятием, обеспечивающим планомерное улучшение водного баланса территории и научно обоснованное планирование и размещение производительных сил с учетом водного фактора. Оно позволяет повысить эффективность поисково-разведочных работ на подземные воды за счет прироста эксплуатационных запасов на разведуемом или уже эксплуатируемом месторождении (последнее практикуется наиболее часто) при незначительных дополнительных затратах.

Следовательно, необходимость в искусственном пополнении подземных вод может возникнуть как в районах интенсивной эксплуатации месторождений подземных вод, где отмечается существенное их истощение, так и в районах возможного отсутствия промышленных естественных месторождений подземных вод, где перевод поверхностного стока в подземный может привести либо к увеличению промышленной ценности естественных месторождений, либо даже к формированию «искусственных месторождений» подземных вод. В последнем случае обычно говорят об искусственном создании запасов подземных вод путем магазинирования поверхностного стока.

Перевод поверхностных вод в подземные с последующей организацией их эксплуатации обеспечивает существенные преимуще-

ства по сравнению с водоснабжением за счет непосредственного использования поверхностных вод из рек и водохранилищ. На многих участках эти преимущества обуславливают высокую экономическую эффективность искусственного пополнения подземных вод, направленного на более полное и комплексное использование водных ресурсов.

Искусственное пополнение подземных вод в зависимости от целевого назначения, природных и технических условий его осуществления, источника пополнения и других факторов реализуется различными способами. Практически оно сводится либо к обеспечению условий свободной инфильтрации вод через зону аэрации,

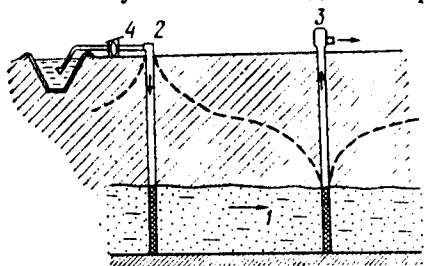


Рис. 42. Система искусственного пополнения напорных вод с нагнетательными скважинами:

1 — объект пополнения, 2 — нагнетательная скважина, 3 — водозаборная скважина, 4 — насосная станция для подачи воды в нагнетательную скважину

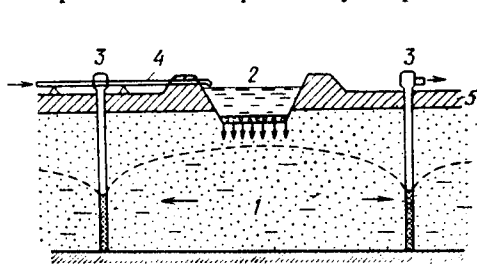


Рис. 43. Система искусственного пополнения грунтовых вод с инфильтрационным бассейном:

1 — объект искусственного пополнения, 2 — инфильтрационный бассейн, 3 — водозаборные скважины, 4 — трубопровод для подачи воды в бассейн, 5 — покровные суглинки

либо к принудительной их подаче в эксплуатируемый (или подлежащий эксплуатации) горизонт через скважины, шахты, колодцы (рис. 42 и 43).

В качестве источников пополнения используются речные, ливневые, паводковые, озерные, реже дренажные, сбросные и сточные воды. На отдельных площадях возможен перевод подземных вод из одних горизонтов в другие. Как правило, в составе систем искусственного пополнения имеются сооружения трех типов: а) инфильтрационные, при помощи которых воды источника пополнения переводятся в продуктивный горизонт (путем инфильтрации или закачки); б) водозаборные (каптажные), с помощью которых эксплуатируются подземные воды; в) вспомогательные, предназначенные для вспомогательных операций (подачи воды от источника пополнения к месту ее инфильтрации, очистки, водоподготовки и закачки воды).

Водозаборные и вспомогательные сооружения систем искусственного пополнения аналогичны сооружениям обычных систем водоснабжения (скважины, колодцы, галереи, трубопроводы, насосные станции, станции очистки и водоподготовки). Инфильтрационные сооружения, являющиеся основными в системе искусственного пополнения, могут быть открытого (инфильтрационные

бассейны, площадки, поля, каналы, борозды) и закрытого (поглощающие и нагнетательные скважины, колодцы, шахты, галереи) типов.

В системах искусственного пополнения, обеспечивающих свободную инфильтрацию подаваемых вод, распределение их по поверхности осуществляется следующими способами: бассейновым, с помощью канав, каналов и борозд, затоплением площадей инфильтрации, использованием речных русел, овражно-балочной сети, местных понижений, шахт, колодцев и т. п. Объектом пополнения служит, как правило, первый от поверхности земли водоносный горизонт (или емкость). Для пополнения запасов подземных вод напорных горизонтов (практикуется реже) используются обычно системы пополнения с инфильтрационными сооружениями закрытого типа.

Разнообразие природных условий, источников пополнения, технических особенностей инфильтрационных, вспомогательных и водозаборных сооружений определяет многообразие применяемых в отечественной и зарубежной практике схем искусственного пополнения [16, 21—23].

На рис. 42 и 43 показаны две основные принципиальные схемы искусственного пополнения грунтовых и напорных подземных вод.

На территории СССР искусственное пополнение запасов подземных вод может и должно найти широкое распространение как за счет использования стока рек и вод поверхностных водоемов, так и за счет местного овражно-балочного стока. Практически оно возможно везде, где имеется источник пополнения и достаточно благоприятные для этого климатические и гидрогеологические условия [22]. Благоприятные условия выявляются в результате регионального изучения и оценки территории СССР или отдельных ее регионов по условиям создания искусственных запасов подземных вод. Основными показателями при этом следует считать наличие в изучаемом районе подземных емкостей — коллекторов для magazинирования или пополнения, источников восполнения или создания запасов подземных вод, потребность района в мероприятиях по искусственному созданию запасов подземных вод или их пополнению, экономическая целесообразность пополнения или создания запасов подземных вод и конкурентоспособность этого метода с другими возможными вариантами водообеспечения.

Эффективность искусственного пополнения запасов подземных вод зависит от комплекса факторов физико-географического (климат, длительность и глубина промерзания пород, рельеф, распределение осадков по времени), геолого-гидрогеологического (геологическая структура, наличие перекрывающих отложений, мощность, литологические особенности и фильтрационные свойства пород, гидрогеологические условия) и гидролого-гидрохимического характера (поверхностный сток, его качество, обеспеченность и т. д.), поэтому для выявления целесообразности и эффективно-

сти искусственного пополнения подземных вод и обоснования проектирования системы пополнения необходим соответствующий комплекс геолого-гидрогеологических, гидрологических, санитарных, опытно-фильтрационных, лабораторных и других исследований.

В результате этих исследований и расчетов должны быть решены следующие задачи: 1) выбор перспективных для искусственного пополнения запасов подземных вод площадей и объектов; 2) обоснование выбора источника искусственного восполнения, отвечающего требованиям по количеству и качеству воды; 3) оценка геолого-гидрогеологических, климатических, санитарных, технических и других условий и процессов с точки зрения их влияния на выбор способа и технологию искусственного пополнения подземных вод; 4) выбор наиболее рационального для выявленных условий способа пополнения подземных вод; 5) прогноз возможных изменений производительности инфильтрационных сооружений и качества инфильтрующихся вод; 6) оценка эксплуатационных запасов подземных вод применительно к работе водозаборных сооружений в условиях искусственного пополнения подземных вод; 7) оценка экономической эффективности намечаемых мероприятий по искусственному пополнению подземных вод и обоснование наиболее оптимальных вариантов их осуществления.

Анализ перечисленных задач показывает, что по своему содержанию, направленности, последовательности и методам их решения они сходны с комплексом задач, решаемых при разведке месторождений подземных вод и их геолого-промышленной оценке применительно к условиям работы инфильтрационных водозаборов. Это сходство, в свою очередь, определяет и некоторую аналогию состава и содержания необходимых исследований и стадийности их проведения. Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения подземных вод требует учета специфики решения задач, связанных с выбором источника искусственного восполнения, его оценкой и прогнозом условий работы инфильтрационных сооружений, и в этой связи является делом более сложным и трудоемким, чем гидрогеологическое обоснование и прогноз условий работы инфильтрационных водозаборов, где контур инфильтрационного питания естественный (река, озеро, водоем).

Как правило, гидрогеологические исследования для обоснования и проектирования систем искусственного пополнения запасов подземных вод должны проводиться, как и для целей водоснабжения, в рамках установленной для этого стадийности, а предусматриваемые при этом исследования должны входить в общий комплекс поисково-разведочных работ. Таким образом, на всех стадиях поисков и разведки в проекте поисково-разведочных гидрогеологических работ следует предусматривать исследования, имеющие целью оценку возможности, условий и эффективности осуществления мероприятий по искусственному пополнению запасов подземных вод.

Наиболее часто необходимость в искусственном пополнении запасов подземных вод возникает на действующих водозаборах, где наряду с постоянным ростом водопотребления имеется тенденция к ухудшению условий работы водозабора, сработке и истощению эксплуатационных запасов подземных вод. В таких условиях комплекс исследований, необходимых для обоснования искусственного пополнения запасов подземных вод, выполняется в рамках стадии эксплуатационной разведки. При этом должны быть получены исходные данные, обеспечивающие решение всех перечисленных задач, начиная от выбора и оценки источника искусственного восполнения и кончая оценкой экономической эффективности рекомендуемой к осуществлению системы искусственного пополнения запасов подземных вод на действующем водозаборе. Исследования целесообразно выполнять в два этапа.

На первом этапе осуществляется обобщение и анализ материалов разведки месторождения и опыта эксплуатации водозабора, а также проводится рекогносцировочное обследование района действующего водозабора. В результате этих работ уточняются гидрогеологические условия района водозабора, режим эксплуатации, размеры депрессионной воронки, площади для размещения будущих инженерных сооружений, закономерности поведения уровней и качества вод, параметры эксплуатационного горизонта, устанавливается техническое состояние водозаборных сооружений и их оборудования, а также наличие источников для организации искусственного пополнения запасов подземных вод, намечаются вопросы для дальнейших исследований и составляется проект их проведения. При недостаточности режимной сети предусматривается бурение наблюдательных скважин и организация наблюдений за режимом подземных вод.

На втором этапе выполняются предусмотренные проектом исследования, необходимые для обоснования намеченной по результатам исследований первого этапа схемы искусственного пополнения запасов подземных вод (изучение и оценка всех основных факторов осуществления восполнения — климатических, геологических, геоморфологических, гидрогеологических, гидрологических, санитарных и др.). Комплекс исследований обычно включает проведение комплексной геолого-гидрогеологической съемки района действующего водозабора масштаба от 1 : 2 000 до 1 : 25 000 (зависит от размеров водозабора, площади депрессионной воронки и конкретных условий района работ), опытно-фильтрационных работ по изучению фильтрационных свойств зоны аэрации (наливы в шурфы и скважины), гидрологических и балансово-гидрометрических исследований по изучению и оценке источников восполнения, санитарных, лабораторных и при необходимости опытно-миграционных работ по изучению и прогнозной оценке качества воды (в источнике восполнения, на инфильтрационных и водозаборных сооружениях), опытных работ по изучению условий работы инфильтрационных сооружений. Съемки обычно сопровожда-

ются значительным объемом горно-буровых работ (проходка шурфов и скважин по поперечникам к водозабору и по линиям возможного расположения инфильтрационных сооружений), отбором проб горных пород и опытно-фильтрационным опробованием горных выработок.

При изучении месторождений подземных вод для целей водоснабжения гидрогеологические исследования по оценке условий искусственного пополнения запасов подземных вод выполняются, как уже отмечалось, в рамках установленной стадийности. Особая необходимость в проведении этих исследований возникает в условиях, когда имеющиеся эксплуатационные запасы разведываемого месторождения не могут обеспечить удовлетворение заявленной потребности в воде.

На основе анализа материалов гидрогеологической съемки (масштаба 1 : 200 000 и др.) выполняется оценка перспектив и условий применения искусственного восполнения запасов подземных вод с выделением первоочередных площадей для проведения поисковых работ.

В процессе поисковых работ (геолого-гидрогеологическая съемка масштаба не менее 1 : 50 000 с комплексом геофизических, гидрохимических, буровых, опытно-фильтрационных, гидрометрических, лабораторных и других работ) осуществляется оценка возможностей искусственного пополнения запасов подземных вод на перспективных площадях и ориентировочная оценка эксплуатационных запасов подземных вод с учетом их восполнения. На этой основе выбираются перспективные для постановки предварительных разведочных работ участки (участок).

На стадии предварительной разведки выполняется комплекс разведочных работ на участках размещения водозаборных и инфильтрационных сооружений для получения исходной информации, необходимой для предварительного обоснования условий работы инфильтрационных сооружений и оценки эксплуатационных запасов подземных вод с учетом их искусственного пополнения. Дополнительно к общепринятым при разведке подземных вод исследованиям проводятся изучение фильтрационных свойств пород зоны аэрации, лабораторные опыты по искусственному пополнению подземных вод, количественная и качественная оценка источника восполнения, опыты (при необходимости) по выявлению условий и особенностей работы инфильтрационных сооружений, технологии искусственного пополнения и т. д. На основе исследований и расчетов стадии предварительной разведки намечаются участок, источник и схема искусственного пополнения запасов подземных вод, обосновывается экономическая целесообразность проведения детальной разведки.

На стадии детальной разведки выполняется комплекс работ для оценки эксплуатационных запасов подземных вод с учетом их искусственного пополнения по принятой схеме с детальностью, обосновывающей выделение капиталовложений на проектирование и

строительство системы искусственного пополнения. Обычно в комплекс работ входят: бурение разведочных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, проходка шурфов и котлованов (бассейнов), опытно-фильтрационные и опытно-миграционные работы (откачки, наливов в шурфы, наливов и нагнетания в скважины, индикационные исследования), наблюдения за режимом поверхностных и подземных вод, геофизические и лабораторные исследования. Разведочные скважины закладываются по линиям намечаемых инфильтрационных и водозаборных сооружений. Они должны обеспечить изучение геолого-гидрогеологических условий участка, включая и породы зоны аэрации. Шурфы проходятся в местах расположения инфильтрационных сооружений и используются для изучения фильтрационных свойств пород зоны аэрации. На стадии детальной разведки обязательной является постановка работ по опытной инфильтрации воды (из бассейнов, каналов, скважин или других сооружений) с изучением процессов инфильтрации, колюматации и изменения качества инфильтруемых и отбираемых вод и с обоснованием рекомендаций по технологии искусственного пополнения запасов подземных вод. Длительность таких работ должна составлять 2—3 месяца, а в сложных условиях и для крупных объектов — 6—12 месяцев. Качество воды источника пополнения в основном должно отвечать требованиям потребителя (при хозяйственно-питьевом водоснабжении требованиям ГОСТ 2874—82). По ряду показателей эти требования могут быть снижены, если учесть улучшение качества воды при ее инфильтрации и передвижении в водоносном горизонте. Для количественной оценки источника пополнения необходимы стационарные гидрометрические, гидрохимические и водно-балансовые исследования для изучения его режима в годовом и многолетнем разрезах.

На участках, где выполнены работы по разведке и геолого-промышленной оценке месторождения подземных вод, могут потребоваться лишь дополнительные исследования, связанные с оценкой и прогнозом условий работы инфильтрационных сооружений и учетом их влияния на работу действующего водозабора.

Эксплуатационные запасы подземных вод в условиях их искусственного пополнения оцениваются известными методами (гидродинамическим, балансовым, гидравлическим, по аналогии и моделированием) и с обязательным учетом особенностей и режима работы инфильтрационных сооружений. Необходимость учета влияния инфильтрационных сооружений приводит к усложнению фильтрационных схем (дополнительные источники и контура питания), поэтому для прогноза условий работы систем пополнения и оценки эксплуатационных запасов подземных вод целесообразно применять комбинированные методы оценки запасов и моделирование. Особенности оценки эксплуатационных запасов подземных вод в условиях их искусственного восполнения рассмотрены в работах [9, 22].

В настоящее время в нашей стране искусственное пополнение запасов подземных вод осуществляется на действующих водозаборах многих городов, промышленных и сельскохозяйственных объектов в Прибалтике, Белоруссии, на Украине, в Средней Азии, Казахстане и РСФСР.

Огромные работы предстоит выполнить гидрогеологам в ближайшем будущем в связи с предстоящим широким внедрением в практику водного хозяйства методов искусственного пополнения подземных вод. В связи с этим большое значение приобретают методы технико-экономического обоснования целесообразности и эффективности искусственного пополнения запасов подземных вод.

§ 4. Принципы технико-экономического обоснования целесообразности и эффективности искусственного пополнения запасов подземных вод

Экономическая целесообразность применения искусственного пополнения подземных вод определяется комплексным характером этого мероприятия и его преимуществами, обеспечивающими эффективное решение задач по наиболее полному использованию водных ресурсов в народном хозяйстве, в частности при организации водоснабжения. По общим соображениям искусственное пополнение запасов подземных вод представляется целесообразным на всех объектах, где оно может привести к успешному решению проблемы водоснабжения при минимальных по сравнению с другими вариантами затратах средств либо к повышению экономической эффективности действующих или проектируемых водозаборных сооружений. При этом желателен количественный экономический учет всех положительных и отрицательных сторон воздействия этого мероприятия на природу и хозяйственную деятельность человека. Нередко, однако, полный учет экономического эффекта систем искусственного пополнения запасов подземных вод оказывается невозможным по причине многообразия влияющих на него в каждом конкретном районе факторов или ненужным ввиду очевидной целесообразности проектируемых мероприятий. Поэтому для решения вопроса о целесообразности проведения мероприятий по искусственному пополнению подземных вод и определению их экономической эффективности нередко оказывается вполне достаточным ограничиться только количественным учетом влияния лишь основных факторов, предопределяющих эффективность проектируемых мероприятий.

Основными технико-экономическими показателями, на основе сопоставления которых определяется целесообразность и экономическая эффективность искусственного пополнения подземных вод, являются размеры капиталовложений K , характеризующие строительную стоимость проектируемых объектов, и эксплуатационные издержки $\mathcal{E}$, учитывающие все эксплуатационные расходы за годовой период (при необходимости определяются удельные капи-

таловложения и себестоимость получения 1 м³ воды; см. гл. IX, § 3). Эти показатели необходимо определять для всех сопоставляемых вариантов водообеспечения как учитывающих, так и не учитывающих мероприятия по искусственному пополнению подземных вод.

Методика определения размеров капиталовложений, эксплуатационных расходов и себестоимости получения воды при решении задач водоснабжения достаточно детально рассмотрена в работах [9, 13, 15, 25]. При определении строительной стоимости вариантов водоснабжения с применением искусственного пополнения подземных вод дополнительно учитываются капиталовложения в строительство всех узлов и сооружений системы искусственного пополнения (каналов, трубопроводов, насосных станций, зданий, оборудования, отстойных, очистных, инфильтрационных и других сооружений). При определении эксплуатационных издержек дополнительно учитываются все расходы, связанные с эксплуатацией системы пополнения (забор воды из источника пополнения, ее подача, подготовка и распределение по площади инфильтрации, зарплата обслуживающему персоналу, различного рода отчисления и прочие затраты).

Приемы сопоставления проектных вариантов и определения их экономической эффективности рассмотрены в предыдущей главе, поэтому здесь следует осветить лишь некоторые особенности их использования применительно к обоснованию систем искусственного пополнения подземных вод. На объектах, где прямое сопоставление основных показателей (капиталовложений K и эксплуатационных затрат $\mathcal{E}$) не обеспечивает однозначного выбора варианта водоснабжения, все конкурирующие варианты сопоставляются с использованием показателей сравнительной экономической эффективности — коэффициента экономической эффективности $E_{\text{дк}}$, срока окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{дк}}$ и приведенных затрат $З_{\text{п}}$ (формулы IX.3—IX.5 в гл. IX, § 3).

При обосновании искусственного пополнения на действующем водозаборе возможны следующие варианты.

1. Дальнейшая эксплуатация водозабора невозможна без организации искусственного пополнения подземных вод вследствие существенной сработки их запасов либо несоответствия их качества предъявляемым требованиям. Искусственное пополнение обеспечивает возможность дальнейшей эксплуатации водозабора с некоторым суммарным дебитом Q , равным или отличающимся по величине от прежней производительности водозабора. Целесообразность и экономическая эффективность искусственного пополнения могут быть установлены сопоставлением ожидаемых затрат на пополнение ($K_{\text{п}}$ и $\mathcal{E}_{\text{п}}$) с соответствующими затратами по другим возможным вариантам организации водоснабжения (например, за счет использования вод другого водоносного горизонта или поверхностных вод). Следует дополнительно учесть капиталовложения, которые могут потребоваться для частичной реконструкции действующего водозабора. Для сопоставления можно использовать показа-

тели общей и сравнительной экономической эффективности аналогично изложенному выше.

2. Дальнейшая эксплуатация водозабора возможна и без искусственного пополнения подземных вод, однако пополнение либо увеличивает суммарную производительность водозабора с Q_1 до Q_2 (при меньшей или неизменной себестоимости получения воды), либо снижает себестоимость получения воды с C_1 до C_2 при постоянной производительности водозабора ($Q_1 = Q_2 = \text{const}$).

В рассматриваемых условиях искусственное пополнение подземных вод можно считать эквивалентным применению новой технологии получения воды и для определения его целесообразности и экономической эффективности пользоваться приемами типовой методики оценки экономической эффективности новой техники.

В частности, для определения экономической целесообразности искусственного пополнения подземных вод можно воспользоваться формулами срока окупаемости капиталовложений и коэффициента экономической эффективности, аналогичными по своей структуре формуле (IX.2). При этом следует учитывать не общие, а дополнительные капиталовложения и прибыль по варианту с искусственным пополнением подземных вод.

Обобщенные формулы для определения срока окупаемости дополнительных капиталовложений по прибыли $T_{\text{дкп}}$ или коэффициента экономической эффективности $E_{\text{дкп}}$ имеют вид:

$$T_{\text{дкп}} = \frac{K_{\text{п}}}{[365Q_2(\text{Ц} - C_2) - 365Q_1(\text{Ц} - C_1)]}$$

(X.1)

и

$$E_{\text{дкп}} = \frac{[365Q_2(\text{Ц} - C_2) - 365Q_1(\text{Ц} - C_1)]}{K_{\text{п}}},$$

где $K_{\text{п}}$ — капиталовложения на устройство системы искусственного пополнения подземных вод.

Вариант с искусственным пополнением подземных вод экономически целесообразен, если значения показателей $T_{\text{дкп}}$ и $E_{\text{дкп}}$ не выходят за пределы их нормативных значений.

Экономическая эффективность искусственного пополнения подземных вод может быть установлена сравнением затрат на пополнение ($K_{\text{п}}$ и $\mathcal{E}_{\text{п}}$) с соответствующими затратами на устройство и эксплуатацию новых водозаборов с производительностью, эквивалентной увеличению дебита действующего водозабора искусственным пополнением. При этом возможно использование всех показателей сравнительной экономической эффективности (срока окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{дк}}$, коэффициента сравнительной экономической эффективности $E_{\text{дк}}$, приведенных затрат $\mathcal{E}_{\text{п}}$ и годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{г}}$), методика определения и сопоставления которых изложена ранее. По этой же методике проводится обоснование выбора наиболее рационального

варианта искусственного пополнения подземных вод (как различных способов искусственного пополнения, так и различных схем расположения сооружений системы пополнения при одном и том же способе пополнения).

Если искусственное пополнение приводит к повышению промышленной ценности месторождения и обеспечивает возможность его использования в народном хозяйстве с водоотбором Q , целесообразность и эффективность искусственного пополнения устанавливаются на основе сопоставления капиталовложений и эксплуатационных затрат по варианту с пополнением и соответствующих затрат по другим возможным вариантам организации водоснабжения с использованием показателей общей и сравнительной экономической эффективности аналогично изложенному ранее.

Заслуживает внимания вопрос использования подземных вод, искусственно пополняемых за счет инфильтрации поливных вод и вод из каналов в пределах орошаемых площадей. Экономическая эффективность такого пополнения на многих орошаемых площадях очевидна, так как не требует значительных капиталовложений на строительство сооружений, кроме водозаборных (в качестве инфильтрационных предполагается использование сооружений оросительных систем), а сами водозаборные сооружения могут выполнять роль дренажа для массива орошения, обеспечивая комплексное использование водных ресурсов и улучшая мелиоративное состояние орошаемых земель. Использование получаемых подземных вод возможно как непосредственно для целей орошения, так и для других видов водоснабжения. На массивах нерегулярного орошения может оказаться целесообразным возведение специальных сооружений для перехвата, аккумуляции и последующей инфильтрации местного стока.

При планировании мероприятий по магазинированию подземных вод экономическая целесообразность их должна быть предварительно установлена на основе учета всех возможных затрат на соответствующие гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания, разведку, магазинирование, на сооружение водозабора и его эксплуатацию. Если имеются другие возможные варианты решения задачи водоснабжения объекта, они сопоставляются по показателям сравнительной экономической эффективности с целью выбора наиболее рационального варианта организации водоснабжения аналогично изложенному выше.

§ 5. Основные методы увеличения и восстановления водообильности скважин

Эффективность работы водозаборных и дренажных сооружений в значительной мере зависит от водообильности отдельных скважин. Уменьшение водообильности скважин вызывает необходимость увеличения их количества (при неизменном суммарном дебите водозабора или дренажных сооружений), что в свою очередь

приводит к увеличению капиталовложений на строительство водозабора (или дренажа) и затрат на его эксплуатацию. В этой связи большое практическое значение приобретают методы искусственного повышения или восстановления дебита водозаборных и дренажных скважин: торпедирование и перфорация скважин, кислотная обработка фильтров скважин в карбонатных водоносных породах, гидравлический разрыв пласта, вакуумирование скважин и их разработка откачками, механическая прочистка фильтров, гидравлический удар и др.

Сущность перечисленных методов увеличения дебита скважин сводится к повышению проницаемости призабойных зон водоносного пласта и снижению гидравлического сопротивления фильтров водозаборных и дренажных скважин.

После проведения мероприятий по увеличению или восстановлению дебита скважин последние подлежат обязательной промывке для очистки их от различного рода шлама и примесей и восстановления первоначального качества воды. Откачки из скважин осуществляются до и после проведения планируемого мероприятия (при соблюдении сопоставимости условий их выполнения). Об эффективности методов увеличения водообильности скважин судят по коэффициенту изменения дебита n , определяемому отношением дебитов (удельных дебитов) скважины, получаемых после и до оцениваемого мероприятия.

Каждый из методов увеличения или восстановления водообильности гидрогеологических скважин характеризуется определенными условиями его практического применения.

Торпедирование скважин осуществляется с помощью взрыва специальных торпед (из детонирующего шнура или взрывчатого вещества), опускаемых в зону фильтра или водоприемную часть бесфильтровой скважины на электрическом кабеле. Наибольший эффект оно дает в слабопроницаемых скальных трещиноватых породах (кристаллических сланцах, гранитах, песчаниках, конгломератах, известняках), где вследствие взрыва торпеды происходит дробление пород и увеличение их трещиноватости и водопрооницаемости. Оно эффективно также при зарастании фильтров плотными, крепкими образованиями, в которых преобладают карбонаты и силикаты. Не следует применять торпедирование в глинистых породах (сланцах, мергелях, глинистых песчаниках и известняках), а также в скважинах, оборудованных сетчатыми фильтрами и фильтрами с неметаллическими опорными каркасами.

Перфорация применяется в скважинах как закрепленных, так и не закрепленных обсадными трубами и цементными кольцами. Чем больше плотность перфорации, глубина и диаметры простреливаемых каналов, тем эффективнее характер вскрытия пласта и больше производительность скважин (желательно плотность перфорации доводить до 25—50 прострелов и более на 1 пог. м). Особенно широкое применение находит перфорация при освоении скважин на подземные воды глубоких структурных горизонтов и в нефтепро-

мысловой гидрогеологии. Эффективное применение торпедирования и перфорации скважин невозможно без тщательного изучения геолого-литологического разреза и гидрогеологических условий (в основном с помощью геофизических исследований в скважинах).

В благоприятных условиях торпедирование скважин и их перфорация приводят к увеличению первоначального дебита скважин в 2—3 раза.

Кислотная обработка фильтров скважин и водоносного пласта, производится для восстановления дебита скважин, снизившегося в результате выпадения из воды осадков, закупоривающих проходные отверстия сеток фильтров и цементирующих прилегающие к фильтру породы. Для этой цели используют растворяющие осадки химические реагенты (соляную, серную и плавиковую кислоты и их смеси). Реагенты выбирают с учетом состава колюматизирующих фильтры отложений, состава пород, материала и типа фильтров. Эффект обработки зависит от глубины проникновения кислоты в пласт и времени ее реагирования с осадками, образовавшимися на фильтрах, и породами.

Для обработки призабойных зон некарбонатных коллекторов применяют смесь соляной и плавиковой кислот, хорошо растворяющую глинистые материалы и частично силикаты. В слабопроницаемых доломитах и мергелях более эффективна термокислотная обработка (с нагревом кислоты за счет экзотермических реакций со специально загружаемыми в скважину реагентами).

В благоприятных условиях (трещиноватые карбонатные пласты) кислотная обработка пласта и фильтров обеспечивает увеличение дебита скважин в 2—5 раз. Известны случаи увеличения первоначального дебита скважин в 8—10 раз и более.

Гидравлический разрыв пласта сводится к повышению проницаемости пород в призабойной зоне скважин за счет расширения и раскрытия ранее существовавших в пласте трещин и образования новых под действием нагнетаемой через скважины под давлением жидкости.

Гидравлический разрыв слабопроницаемых пластов является универсальным методом увеличения их проницаемости, так как может применяться в разнообразных геологических условиях. Он широко используется для повышения производительности нефтяных и газовых скважин, а также для увеличения приемистости поглощающих и нагнетательных скважин. У этого метода большие перспективы. Он может применяться при освоении месторождений глубоких минеральных, промышленных и термальных подземных вод, где он еще не нашел широкого практического применения.

Вакуумирование вызывает интенсивный приток жидкости к скважинам, так как устраняет атмосферное противодействие и вызывает соответствующее повышение напора в призабойной зоне вакуумированных скважин.

Наиболее эффективно вакуумирование при эксплуатации напорных вод. Оно применяется и при эксплуатации грунтовых вод, осо-

бенно если они перекрыты с поверхности относительно слабопроницаемыми для воздуха породами.

Определенное увеличение дебита скважин может быть обеспечено *разработкой* их в процессе освоения интенсивными и пульсирующими откачками, прокачками, нагнетаниями. Для повышения эффективности разработки скважин применяется чередование откачки с промывкой, а также с наливками и нагнетаниями. В слабопроницаемых породах скважины разрабатывают тартанием и сваби́рованием.

Для ликвидации последствий механической и химической коагуляции фильтров гидрогеологических скважин и восстановления утраченной водопрпускной способности их применяется *механическая прочистка* с помощью: а) поршневых и простых желонки, б) обратной промывки скважин, в) эрлифтных установок, г) специальных ершей, д) гидравлических ударов и вакуумирования.

Наиболее надежные результаты обеспечиваются при прочистке фильтров обратной промывкой скважин и с помощью эрлифта. Перспективно также комбинирование различных способов прочистки фильтров.

Интересными и заслуживающими внимания своеобразными приемами искусственного увеличения производительности водозаборных скважин являются методы сооружения многозабойных и бесфильтровых скважин, а также способы эксплуатации скважин в условиях поддержания пластового давления.

Сооружение *многозабойных скважин* целесообразно для эксплуатации подземных вод трещинно-карстовых массивов, характеризующихся существенной фильтрационной неоднородностью.

Выбирать место заложения многозабойной скважины и бурить вспомогательные скважины следует с учетом пространственных закономерностей развития трещиноватости и закарстованности водонесных отложений, выявляемых разведочными работами.

Своеобразным методом увеличения водообильности скважин на подземные воды песчаных водоносных горизонтов является устройство *бесфильтровых скважин*, в которых при интенсивной проработке их откачками за счет выноса песка создаются водоприемные пустоты в виде достаточно обширных полостей — воронок, обеспечивающие существенное увеличение дебита по сравнению с фильтровыми скважинами. Особенно эффективно сооружение таких скважин при эксплуатации напорных подземных вод в мелко- и тонкозернистых песчаных отложениях. Применение бесфильтровых скважин увеличивает возможности отбора подземных вод из песчаных горизонтов, уменьшает затраты на их разведку, сооружение водозаборов и их эксплуатацию и является перспективным направлением в практике использования ресурсов подземных вод.

Поддержание пластового давления при эксплуатации подземных вод практикуется пока очень редко (Мангышлак, Краснодарский край), хотя при разработке нефтяных месторождений этот способ является одним из основных. Закачка воды в продуктивные

пласты обеспечивает стабильные условия эксплуатации скважин, возможность более интенсифицированного отбора подземных вод, увеличивает срок действия водозаборных сооружений и более полную сработку естественных запасов глубоких водоносных горизонтов. Жидкость для поддержания пластового давления в продуктивном пласте можно закачивать как непосредственно на участке водозабора (или поблизости от него), так и за контуром распространения подземных вод кондиционного состава. В первом случае предъявляются жесткие требования к качеству воды, используемой для закачки в продуктивный пласт, и требуется прогнозная оценка качества отбираемых вод в процессе эксплуатации водозабора; во втором — возможна закачка в пласт вод некондиционного состава (в том числе морских) и прогнозная оценка качества воды не обязательна (если она не вызывается другими факторами). Представляется, что в перспективе способ эксплуатации скважин в условиях поддержания пластового давления может найти более широкое применение при промышленном освоении месторождений подземных вод, имеющих напорный характер и глубокое залегание.

В заключение следует отметить, что все мероприятия по увеличению и восстановлению водообильности скважин должны быть увязаны с действующими положениями по охране и рациональному использованию ресурсов подземных вод.

ГЛАВА XI

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ, ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТЕРМАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Народнохозяйственное использование минерализованных (солевых) подземных вод приобретает все более значительные масштабы. Помимо их широкого использования для водоснабжения (в основном для производственно-технического, для хозяйственно-питьевого после опреснения и водоподготовки) и орошения они применяются в бальнеологии, химической промышленности и теплоэнергетике. В последних трех случаях минерализованные подземные воды (обычно с минерализацией более 1 г/л) должны отвечать требованиям, предъявляемым к минеральным, промышленным и термальным подземным водам.

К *минеральным (лечебным) водам* относят природные воды, оказывающие на организм человека лечебное действие, обусловленное либо повышенным содержанием полезных, биологически активных компонентов ионно-солевого или газового состава, либо общим ионно-солевым составом воды [4, 7, 13]. Минеральные воды весьма разнообразны по генезису, минерализации (от маломинерализованных до крепко рассольных), химическому составу (микрокомпонентам, газам, pH, ионному составу), температуре (от холодных до

высокотермальных), но основным и общим их показателем является свойство оказывать на организм человека лечебное воздействие.

К *промышленным водам* относятся подземные воды, содержащие в растворе полезные компоненты или их соединения (поваренная соль, иод, бром, бор, литий, калий, стронций, барий, вольфрам и др.) в концентрациях, представляющих промышленный интерес. Подземные промышленные воды могут содержать физиологически активные компоненты, обладать повышенной температурой (вплоть до высокотермальных) и минерализацией (обычно соленые воды и рассолы), иметь различное происхождение (седиментационные, инфильтрационные и другие воды), характеризоваться широким региональным распространением [2].

Подземные воды, температура которых превышает 20°C, принято считать *термальными*, а менее 20°C — *холодными* [5, 13, 14]. К термальным водам теплоэнергетического назначения относят подземные воды с температурой более 35°C, хотя для этих целей могут использоваться и субтермальные воды с температурой от 20 до 35°C [9, 11].

В зависимости от геотермических и геолого-гидрогеологических условий, а также геохимической обстановки формирования термальные воды могут содержать повышенные концентрации ценных в промышленном отношении элементов и их соединений и обладать активным физиологическим воздействием на организм человека, т. е. отвечать требованиям, предъявляемым к минеральным водам. Нередко поэтому возможно и целесообразно комплексное использование термальных вод для бальнеологии, промышленного извлечения полезных компонентов, теплофикации и теплоэнергетики. Естественно, что оценка перспектив практического использования термальных подземных вод требует учета не только их температуры (теплоэнергетического потенциала), но также химического и газового состава, условий промышленного извлечения полезных микрокомпонентов, потребностей района в подземных водах различного типа (минеральных, промышленных, термальных), последовательности и технологии использования термальных вод и других факторов.

Потребности интенсивно развивающегося народного хозяйства и задачи обеспечения неуклонного роста благосостояния народа определяют необходимость более широкой постановки поисково-разведочных работ на минеральные, промышленные и термальные подземные воды.

Методика их гидрогеологических исследований зависит на каждом конкретном месторождении от особенностей природных условий формирования и распространения рассматриваемых типов подземных вод, степени изученности и сложности гидрогеологических и гидрогеохимических условий, специфики и масштабов использования подземных вод и других факторов. Однако даже простой анализ приведенных выше определений минеральных, промышленных и термальных вод свидетельствует о некоторой общности

условий их формирования, залегания и распространения. Это дает основание наметить единую схему их изучения и охарактеризовать общие вопросы методики их гидрогеологических исследований.

§ 1. Некоторые общие вопросы поисков и разведки месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод

Минеральные, промышленные и термальные воды широко распространены на территории СССР. В отличие от пресных подземных вод они вскрываются, как правило, в более глубоких структурных горизонтах, имеют повышенную минерализацию, специфический микрокомпонентный и газовый состав, характеризуются незначительной зависимостью своего режима от климатических факторов, нередко сложными гидрогеохимическими особенностями, проявлениями упругого режима при эксплуатации и другими отличительными чертами, определяющими специфику их гидрогеологических исследований. В частности, минеральные, промышленные и термальные подземные воды значительной минерализации имеют широкое региональное распространение в пределах глубоких частей артезианских бассейнов платформ, предгорных прогибов и горно-складчатых областей. Специфические по некоторым признакам минеральные, термальные и реже промышленные воды встречаются в районах отдельных кристаллических массивов и областей современной вулканической деятельности. В пределах указанных территорий по общности геолого-структурных, гидрогеологических, гидрогеохимических, геотермических и других условий выделяются характерные провинции, области, районы и месторождения минеральных, промышленных и термальных подземных вод. В соответствии с ранее данным определением (см. гл. I, § 1) к месторождениям относятся пространственно оконтуриваемые скопления подземных вод, качество и количество которых обеспечивают экономически целесообразное их использование в народном хозяйстве (в бальнеологии, для промышленного извлечения полезных компонентов, в теплоэнергетике, комплексное их использование).

Экономическая целесообразность использования промышленных и термальных подземных вод на каждом конкретном месторождении должна быть установлена и доказана технико-экономическими расчетами, выполняемыми в процессе проектирования поисково-разведочных работ, изучения месторождения и оценки его эксплуатационных запасов. Показатели, которыми определяется экономическая целесообразность эксплуатации того или иного месторождения подземных вод и на основе которых дается оценка его эксплуатационных запасов, называются *кондиционными*. Кондиционные показатели представляют собой требования к качеству подземных вод и условиям их эксплуатации, при соблюдении которых возможно экономически целесообразное их использование с водоот-

бором, равным по величине установленным эксплуатационным запасам. Обычно в кондициях учитываются требования к общему химическому составу подземных вод, содержанию отдельных компонентов и газов (биологически активных, ценных в промышленном отношении, вредных и др.), температуре, условиям эксплуатации скважин (минимальный дебит, максимальное понижение уровня, условия сброса сточных вод, срок эксплуатации скважин и др.), глубине залегания продуктивных горизонтов и т. п.

Участки месторождений, в пределах которых экономически целесообразно использование подземных вод для целей бальнеологии, промышленности или теплоэнергетики, называют *эксплуатационными*. Они выявляются и изучаются в процессе специальных поисково-разведочных работ, которые ведутся в полном соответствии с общими принципами гидрогеологических исследований (см. гл. 1, § 3). Поисково-разведочным работам обычно предшествуют региональные обобщения и оценки. Они выполняются на основе анализа и обобщения ранее выполненных исследований (главным образом результатов комплексных гидрогеологических съемок масштаба 1 : 200 000 и данных глубокого опорного и нефтегазопискового бурения) и имеют целью выяснение основных закономерностей формирования и распространения различных типов подземных вод (минеральных, промышленных и термальных) в пределах крупных гидрогеологических регионов и оценку условий существующего и возможного их использования с выделением перспективных структур и площадей для проведения дальнейших поисковых и разведочных работ.

Поисково-разведочные работы — один из наиболее важных элементов в рациональном освоении месторождений минерализованных подземных вод. Их основная цель — выявление месторождений минеральных, промышленных или термальных подземных вод, изучение геолого-гидрогеохимических и геотермальных условий, оценка качества, количества и условий рационального народнохозяйственного использования их эксплуатационных запасов.

В соответствии с общими принципами поисково-разведочных работ и действующими положениями гидрогеологические исследования названных типов подземных вод осуществляются последовательно с соблюдением установленной стадийности их проведения: поиски, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка [3, 6—9, 11—13]. В зависимости от конкретных условий рассматриваемых месторождений, степени их изученности и сложности, размеров водопотребления и других факторов в отдельных случаях возможно выпадение отдельных стадий исследований либо их совмещение с другими. Так, при поисках подземных промышленных и термальных вод исследования обычно проводятся в два этапа (подстадии). На первом этапе (общие поиски) на основе сбора, обработки и анализа материалов предшествующих исследований выявляются площади распространения промышленных и термальных вод, перспективные для проведения поисково-

разведочных работ, выполняется геологоэкономическое обоснование (по укрупненным показателям) целесообразности проведения этих работ, намечаются места заложения поисковых скважин. На втором этапе (детальные поиски) выявленные площади (месторождения) изучаются с помощью бурения и опробования (качественного и количественного) поисковых скважин. Цель такого изучения — выбор перспективных для разведки продуктивных горизонтов и эксплуатационных участков месторождений, составление технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности проведения разведочных работ.

В условиях достаточной изученности промышленных и термальных вод для решения всех указанных задач нередко можно ограничиться первым этапом поисков и обосновать целесообразность проведения предварительных разведочных работ. Нередко также при разведке термальных вод и проектировании их промышленного освоения небольшим количеством эксплуатационных скважин в связи со значительной стоимостью сооружения разведочных скважин представляется оправданным и целесообразным совмещение предварительной разведки с детальной и бурение разведочно-эксплуатационных скважин (с последующим их переводом в категорию эксплуатационных скважин).

Поиски на минеральные, промышленные и термальные подземные воды в каждом районе должны быть увязаны с перспективами народнохозяйственного развития, потребностями в определенном типе подземных вод и целесообразностью их использования в данном районе.

К числу общих задач работ поисковой стадии относятся: выявление основных закономерностей распространения минерализованных вод, выделение тех или иных типов их месторождений или площадей, перспективных на вскрытие минеральных (промышленных или термальных) подземных вод, и при необходимости изучение этих месторождений и площадей с помощью бурения и опробования поисковых скважин, а иногда и проведения специальных съемочных работ (гидрогеологические, гидрохимические, газовые, термометрические и другие виды съемок).

Одним из основных и обязательных видов исследований на стадии поисков является сбор, анализ и целенаправленное тщательное обобщение всех собранных по району исследований гидрогеологических материалов, составление необходимых карт, схем, разрезов, профилей и т. п. Поскольку бурение поисковых скважин на глубокие горизонты требует больших затрат (стоимость скважины глубиной 1,5—2,5 км 300—500 тыс. руб. и больше), целесообразно использовать для исследований ранее пробуренные скважины (разведочные на нефть и газ, опорные и др.).

В результате поисковых работ должны быть выделены перспективные на проведение разведочных работ продуктивные горизонты и участки, разработаны ориентировочные кондиционные показатели и дана ориентировочная оценка эксплуатационных запасов в пре-

делах выделенных участков (обычно по категории C_2), обоснована экономическая целесообразность проведения разведочных работ и выделены первоочередные объекты.

В процессе предварительной разведки изучаются геолого-гидрогеологические условия выделенных по результатам поисков участков (их может быть один или несколько) для получения данных для их сравнительной оценки и обоснования объекта для детальной разведки. С помощью бурения и всестороннего опробования разведочных скважин, размещаемых по площади изучаемого участка (участков), выявляются фильтрационные свойства продуктивных горизонтов, водно-физические характеристики пород и воды, химический, газовый и микрокомпонентный состав подземных вод, геотермические условия и другие показатели, необходимые для составления предварительных кондиций и предварительной оценки эксплуатационных запасов (обычно по категориям C_1 и C_2).

При недостаточной региональной изученности для уточнения гидрогеологических условий в зоне предполагаемого влияния водозабора (параметры, граничные условия и т. п.) целесообразно заложить отдельные разведочные скважины и за пределами изучаемого эксплуатационного участка (а при возможности использовать для этой цели ранее пробуренные скважины). Так как стоимость глубокого бурения велика, разведочные скважины на стадии предварительной разведки целесообразно проходить малым диаметром и использовать их в дальнейшем в качестве наблюдательных и режимных скважин. Чтобы оценить промышленную и бальнеологическую ценность и особенности дальнейшего использования подземных вод в процессе предварительной разведки, должно быть выполнено специальное технологическое (для промышленных вод) и лабораторное (для всех типов вод) их изучение.

По итогам предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), обосновывающий целесообразность постановки на том или ином объекте детальных разведочных работ. ТЭД не является обязательным лишь при изучении минеральных вод.

В докладе освещаются геологическое строение, гидрогеологические, гидрогеохимические и геотермические условия разведанных участков, результаты оценки эксплуатационных запасов подземных вод и основные технико-экономические показатели, обосновывающие целесообразность и эффективность их народнохозяйственного использования.

Детальная разведка эксплуатационного участка проводится в целях более детального изучения его геолого-гидрогеологических, гидрогеохимических и геотермальных условий и обоснованного подсчета эксплуатационных запасов подземных вод продуктивных горизонтов по категориям, позволяющим выделить капиталовложений на проектирование их эксплуатации (по категориям $A+B+C_1$). Эксплуатационные запасы оцениваются общепринятыми методами (гидродинамическим, гидравлическим, моделировании

ем и комбинированным на основе утвержденных в ГКЗ кондиционных требований).

Детальная разведка и оценка эксплуатационных запасов проводятся применительно к наиболее рациональной в условиях изучаемого месторождения схеме расположения эксплуатационных скважин. С учетом этого положения, а также по экономическим соображениям в процессе детальной разведки закладываются разведочно-эксплуатационные скважины, конструкция которых должна удовлетворять условиям их последующей эксплуатации. На детальной стадии обязательно проведение кустовых откачек (а в сложных природных условиях и длительных опытно-эксплуатационных). Специальные наблюдательные скважины сооружаются лишь при залегании продуктивных горизонтов на глубине не более 500 м, в других условиях в качестве наблюдательных точек используются разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины. При необходимости они сосредоточиваются в районах опытных кустов за счет частичного разряжения их на участках с более простыми природными условиями.

В соответствии с целевым назначением в процессе поисково-разведочных работ на глубокие минеральные (минерализованные) воды закладываются обычно скважины следующих категорий: поисковые, разведочные (опытные и наблюдательные), разведочно-эксплуатационные и эксплуатационные. Поскольку при глубоком бурении скважины являются наиболее достоверным и нередко единственным источником информации о разведуемом объекте, каждая из них должна быть тщательно задокументирована и исследована в процессе ее бурения (отбор и изучение керна, шлама, глинистого раствора, применение пластоиспытателей) и соответствующим образом опробована после сооружения (специальные геофизические, гидрогеологические, термометрические и другие исследования).

При гидрогеологическом и других видах опробования глубоких скважин на минеральные, промышленные и термальные подземные воды следует учитывать их специфические особенности, обусловленные химическим составом и физическими свойствами подземных вод (влияние растворенного газа, плотности и вязкости жидкости, изменения температурного режима), конструктивными особенностями скважин (потери напора на преодоление сопротивлений при движении воды по стволу скважины) и другими факторами.

Гидрогеологическое опробование скважин проводится путем выпусков (при самоизливе подземных вод) или откачкой (обычно эрлифтом, реже артезианскими или штанговыми насосами). Схема оборудования и опробования скважин, дающих воду самоизливом, приведена на рис. 44. При опробовании по этой схеме насосно-компрессорные трубы (НКТ) служат для спуска глубинных приборов и используются в качестве пьезометра для наблюдений за уровнем. Их башмак обычно устанавливается на глубине, исключающей выделение свободного газа. Схема оборудования и опробования

скважин с уровнем воды ниже устья эрлифтом показана на рис. 45. На практике применяются однорядные и двухрядные схемы эрлифта. По условиям замера динамического уровня целесообразнее двухрядная схема. Перед опробованием замеряются пластовое давление (статический уровень), температура воды в пласте и на устье скважины, в процессе опробования — дебит, динамический уровень (забойное давление), температура на устье, газовый фактор. Отбираются и исследуются пробы воды и газа.

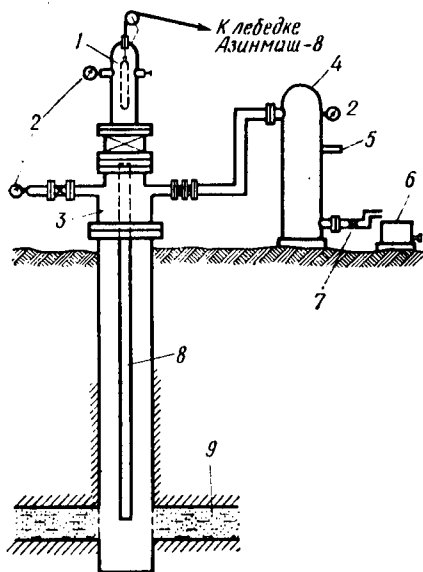


Рис. 44. Схема оборудования и опробования скважин, дающих воду самоизливом:

1 — лубрикатор, 2 — манометры, 3 — фонтанная арматура, 4 — трап-газоотделитель, 5 — измеритель дебита газа, 6 — мерная емкость, 7 — задвижка, 8 — насосно-компрессорные трубы, 9 — водоносный горизонт

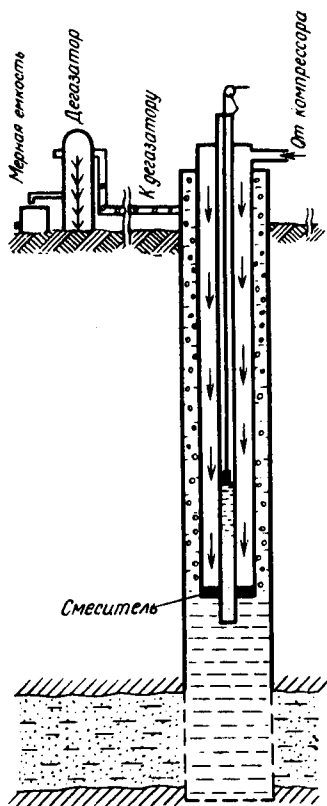


Рис. 45. Схема оборудования и опробования скважин с уровнем воды ниже устья

На точность замеров статического и динамического уровней воды оказывает влияние растворенный газ, изменение температуры воды, сопротивление движению воды в трубах. Влияние газового фактора можно исключить, измеряя уровни в пьезометрах, опущенных ниже зоны выделения свободного газа, либо глубинными манометрами. В противном случае замеренный уровень воды в скважине будет отличаться от истинного на величину $\Delta S_{г\text{,}}$

определяемую по формуле Е. Е. Керкиса:

$$\Delta S_r = \frac{v_0 P_0 \tau}{\rho g} \left[\ln \left(\frac{P_r}{P_1} \right) - \frac{P_r - P_1}{P_r} \right], \quad (\text{XI.1})$$

где v_0 — газовый фактор, $\text{м}^3/\text{м}^3$; P_0 , P_1 и P_r — величина давлений атмосферного, устьевое и насыщения, Па; τ — температурный коэффициент, равный $\tau = 1 + t/273$ (где t — температура газовой смеси, $^{\circ}\text{C}$); ρ — плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

При откачке термальных вод из скважины наблюдается удлинение столба воды в ней за счет увеличения температуры, при простаивании — «усадка» столба за счет его остывания. Величину температурной поправки ΔS_t при известных значениях температуры воды на устье до откачки t_0° и при изливе t_n° можно определять по формуле (XI.2).

$$\Delta S_t = \frac{H_0}{2} \left[\frac{\rho(t_0^{\circ}) - \rho(t_n^{\circ})}{\rho(t_n^{\circ})} \right], \quad (\text{XI.2})$$

где H_0 — способ воды в скважине, м; $\rho(t_0^{\circ})$ и $\rho(t_n^{\circ})$ — плотность воды при температурах t_0° и t_n° . При больших глубинах скважин (≈ 2000 м и более) температурная поправка может достигать 10–20 м.

При определении понижения уровня при откачках из глубоких скважин необходимо также учитывать потери напора ΔS_n на преодоление сопротивлений движению воды в стволе скважины, определяемые по формуле (IV.20).

С учетом характера влияния рассмотренных факторов допустимая величина понижения уровня S_d принимаемая в расчет при оценке эксплуатационных запасов минеральных, промышленных и термальных подземных вод, определяется по формуле

$$S_d = h_d + \frac{P_n}{\rho g} + \Delta S_r + \Delta S_t - \Delta S_n, \quad (\text{XI.3})$$

где h_d — допустимая глубина динамического уровня от устья скважины (определяется возможностями водоподъемного оборудования); P_n — избыточное над устьем скважины давление подземных вод; ΔS_r , ΔS_t и ΔS_n — поправки, учитывающие влияние газового фактора, температуры и гидравлических потерь напора и определяемые соответственно по формулам (XI.1), (XI.2) и (IV.20).

Эксплуатационная разведка проводится на эксплуатируемых участках и месторождениях. Ее цель — гидрогеологическое обоснование прироста эксплуатационных запасов и перевода их в более высокие по степени изученности категории, корректировка условий и режима эксплуатации водозаборных сооружений, осуществление прогнозов при изменении режима их эксплуатации и т. д. В процессе эксплуатационной разведки ведутся систематические наблюдения за режимом подземных вод в условиях их эксплуатации. При необходимости обеспечения прироста эксплуатационных запасов

возможны разведочные работы на сопредельных с эксплуатационным участком площадях (если это нужно по геолого-гидрогеологическим показателям).

Таковы общие положения и принципы гидрогеологических исследований месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод. Особенности их проведения на каждом конкретном участке определяются в зависимости от геолого-структурных, гидрогеологических, гидрогеохимических условий изучаемых месторождений, степени их изученности, заданной потребности в воде и других факторов, учет которых обеспечивает целенаправленные, научно обоснованные и эффективные поисково-разведочные работы и рациональное народнохозяйственное освоение месторождений подземных вод [2, 3, 6—12].

§ 2. Некоторые особенности гидрогеологических исследований минеральных, промышленных и термальных подземных вод

Минеральные воды. Для отнесения природных вод к категории минеральных в настоящее время используются нормы, установленные ГОСТами и «Правилами разработки месторождений лечебных вод СССР». Они определяют нижние пределы содержания отдельных компонентов вод (в мг/л): минерализация — 2000, углекислота свободная — 500, сероводород общий — 10, железо — 20, мышьяк элементарный — 0,7, бром — 25, иод — 5, литий — 5, кремневая кислота — 50, борная кислота — 50, фтор — 2, стронций — 10, барий — 5, радий — 10^{-8} , радон (в единицах Махе; $1 \text{ Махе} \approx 13,5 \times 10^3 \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1} = 13,5 \text{ л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) — 14.

Для отнесения минеральных вод к тому или иному их типу по минерализации, содержанию биологически активных компонентов, газов и другим показателям используются критерии и оценки, регламентированные ГОСТ 13273—73 [3, 4, 13]. Ниже приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых компонентов, установленные для минеральных вод (в мг/л): аммоний (NH_4)⁺ — 2,0, нитриты (NO_2)⁻ — 2,0, нитраты (NO_3)⁻ — 50,0, ванадий — 0,4, мышьяк — 3,0, ртуть — 0,02, свинец — 0,3, селен — 0,05, фтор — 8, хром — 0,5, фенолы — 0,001, радий $5 \cdot 10^{-7}$, уран — 0,5. Число микроорганизмов в 1 мл воды не должно превышать 100, коли-индекс — 3. Указанные нормы и значения ПДК следует учитывать при характеристике качества минеральных вод и геологопромышленной оценке их месторождений.

Минеральные воды СССР представлены всеми основными их типами: углекислыми, сероводородными, углекисло-сероводородными, радоновыми, иодными, бромными, железистыми, мышьяковистыми, кремнистыми и др. [3, 4, 13].

Они широко распространены в пределах артезианских бассейнов различного порядка, трещинных водонапорных систем, тектонических зон и нарушений, массивов магматических и метаморфических пород. Месторождения минеральных вод классифицируются по

различным признакам (по типу минеральных вод, по условиям их формирования и другим показателям).

Для разведки представляет определенный интерес типизация месторождений по геолого-структурным и гидрогеологическим их условиям [12]. По этим признакам выделяется 6 характерных типов месторождений минеральных вод. 1. Месторождения в артезианских бассейнах платформ характеризуются широким распространением, глубоким и спокойным залеганием минеральных вод в относительно однородных трещинных и поровых коллекторах, выдержанностью гидрогеохимических показателей, небольшими избыточными напорами и значительными естественными запасами.

2. Месторождения предгорных и межгорных артезианских бассейнов и склонов (пластовые) характеризуются ограниченным распространением минеральных вод, высокой их газонасыщенностью, высокими избыточными напорами, неизменностью химического состава вод при малых водоотборах и возможностью подтока вод иного состава по зонам тектонических нарушений и через литолого-фациальные окна. При вскрытии месторождений возможны сильные водяные и газоводяные выбросы.

3. Месторождения артезианских бассейнов и склонов, связанные с зонами разгрузки глубинных минеральных вод в вышележащие напорные водоносные горизонты, имеют сходство с месторождениями 2-го типа. Они характеризуются высокой газонасыщенностью и температурой вод, ограниченным их распространением среди пластовых напорных вод (в виде куполов минеральных вод над тектоническим нарушением или фациальным окном), изменчивостью границ и объема купола во времени и при откачках, трудностью прослеживания куполов минеральных вод.

4. Месторождения трещинно-жилых водонапорных систем, приуроченные к магматогенно-метаморфическим породам, характеризуются малыми сечениями водоносных зон (генетически связанных с тектоническими нарушениями, реже с карстом) и как следствие — сосредоточенностью потоков минеральных вод, стабильностью гидродинамического режима и устойчивым во времени составом минеральных вод.

5. Месторождения, приуроченные к зонам разгрузки напорных потоков в бассейны грунтовых вод характеризуются ограниченным распространением куполов минеральных вод в грунтовых потоках, зависимостью размеров и формы куполов от гидродинамического равновесия взаимодействующих потоков. Они широко распространены в массивах магматогенно-метаморфических пород, где к верхней трещиноватой зоне обычно приурочены пресные грунтовые потоки, в которые по тектоническим нарушениям разгружаются минеральные воды. Этот тип месторождений наиболее сложен в геолого-структурном и гидродинамическом отношении.

6. Месторождения грунтовых минеральных вод связаны с зонами выветривания магматогенных, метаморфических или карстующихся пород с участками локализации в породах тех или иных биологически активных компонентов, которые выщелачиваются грунтовыми водами. Для них характерны небольшие площади развития кондиционных минеральных вод, относительно ограниченные их эксплуатационные запасы и часто значительная неустойчивость состава вод во времени.

По степени сложности геолого-гидрогеологических условий (определяющих принципы разведки, получение и обоснование достоверности исходной информации для подсчета эксплуатационных запасов) месторождения минеральных вод, как и пресных подразделяются на три группы: с простыми, со сложными и с весьма сложными гидрогеологическими условиями [10]. Рассмотренные выше основные типы месторождений минеральных вод в зависимости от сложности и степени изученности их природных условий (изменчивость мощности и фильтрационных свойств пород, изученность источников формирования эксплуатационных запасов, а также гидрогеохимических и гидрогеотермальных условий месторождения) могут быть отнесены к той или иной группе сложности условий.

Обычно пластовые месторождения артезианских бассейнов платформ и крупные месторождения бассейнов складчатых областей (месторождения первых двух типов) относят к группе месторождений с простыми гидрогеологическими условиями. В таких условиях выделение перспективных для разведки площадей возможно на основе анализа региональных гидрогеологических материалов, рекомендуется разведка бурением и опробованием одиночных скважин (редко кустов). Оценка эксплуатационных запасов целесообразна гидродинамическим и гидравлическим (при значительной тектонической нарушенности пород и газонасыщенности вод) методами либо путем их совместного применения (комбинированный метод).

Гораздо более сложными гидрогеологическими и гидрогеохимическими условиями отличаются месторождения остальных типов (их относят обычно ко 2-й и 3-й группам сложности). Для них свойственны ограниченные площади развития минеральных вод (типа куполов), изменчивость границ, запасов и химического состава во времени и при откачках, ограниченность эксплуатационных запасов. Для выделения участков под разведку помимо всестороннего анализа региональных материалов нередко требуются проведение поисковых геофизических, термометрических и других видов исследований, бурение поисковых и поисково-зондировочных скважин и их массовое глубинное опробование, специальные съемочные работы. Такие месторождения разведуются бурением скважин по разведочным створам и специальными площадными съемочными работами. В силу значительной неустойчивости химического состава и зависимости эксплуатационных запасов от геолого-тектонических и гео-

термических условий поступления минеральной составляющей и формирования купола минеральных вод оценка их осуществляется преимущественно гидравлическим методом, перспективно применение метода моделирования. Разведочные и разведочно-эксплуатационные скважины (обычно небольшое количество) размещают с учетом результатов бурения и опробования поисковых скважин применительно к схеме будущего водозабора, нередко совмещая стадии предварительной и детальной разведки и проводя длительные опытно-эксплуатационные откачки. Результаты таких откачек должны обеспечивать надежное определение возможных эксплуатационных дебитов скважин при устойчивом уровне режиме и качестве отбираемой воды (наблюдаемые изменения дебитов, уровней и химического состава вод не должны при этом носить однопавленного характера и увязываться с сезонными гидрометеорологическими факторами). Их минимальная продолжительность принимается при разведке месторождений 1-й группы сложности, а максимальная — для месторождений с весьма сложными гидрогеологическими и гидрохимическими условиями [3, 12]. Более детально вопросы методики гидрогеологических исследований выделенных типов месторождений минеральных вод рассмотрены в работах [3, 12, 13 и др.].

Промышленные воды. В качестве критериев для отнесения минерализованных природных вод к категории промышленных используются некоторые условные кондиционные показатели, определяющие минимальные концентрации полезных микрокомпонентов и предельно допустимые вредных компонентов, осложняющих технологию промышленного освоения подземных минерализованных вод.

В настоящее время такие показатели установлены лишь для некоторых типов промышленных вод: иодных (иода не менее 18 мг/л), бромных (брома не менее 250 мг/л), иодо-бромных (иода не менее 10, брома не менее 200 мг/л), иодо-борных (иода не менее 10, бора не менее 500 мг/л). Содержание в воде нафтеновых кислот не должно превышать 600 мг/л, нефти — 40 мг/л, галондопоглощение должно быть не выше 80 мг/л, щелочность воды — не более 10—90 молей/л.

Указанные показатели не учитывают условий эксплуатации промышленных вод, метода извлечения микрокомпонентов, условий сброса отработанных вод и других факторов, определяющих экономическую целесообразность промышленного извлечения микрокомпонентов. Использование их целесообразно лишь при общих ориентировочных оценках возможности промышленного освоения подземных вод. При этом условно принимается, что при глубине скважин 1—2 км и предельном положении динамического уровня на глубине 300—800 м дебит отдельных скважин должен быть не менее 300—1000 м³/сут. Реальные показатели, определяющие условия целесообразного использования промышленных вод того или иного месторождения для извлечения промышленных компонентов, устанавли-

ваются в процессе поисково-разведочных работ на основе повариантных технико-экономических расчетов. Это так называемые кондиционные показатели, являющиеся основой геолого-промышленной оценки месторождений промышленных вод.

Подземные промышленные воды все более привлекают пристальное внимание ученых как источник минерально-сырьевых и энергетических ресурсов. Известно, что помимо основных солей — хлоридов натрия, калия, магния и кальция — минерализованные подземные воды и рассолы содержат в своем составе огромный комплекс металлических и неметаллических микрокомпонентов (в том числе редких и рассеянных химических элементов), комплексное извлечение которых может сделать эти воды исключительно ценным сырьем для химической и энергетической промышленности и существенно повысить экономическую эффективность их промышленного использования.

В Советском Союзе промышленные воды используются в основном для добычи иода и брома. Разрабатывается технология промышленного извлечения из подземных вод и некоторых других микрокомпонентов (лития, стронция, калия, магния, цезия, рубидия и т. д.). В США из подземных вод кроме иода и брома добывают литий, вольфрам и соли (CaCl_2 , MgSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, KCl и MgCl_2).

Подземные минерализованные воды и рассолы, имеющие промышленное значение, широко развиты на территории СССР. Они находятся обычно в глубоких частях артезианских бассейнов древних и эпигерцинских платформ, предгорных и межгорных впадинах альпийской геосинклинальной зоны юга СССР. Обобщение большого количества региональных материалов позволило коллективу советских гидрогеологов составить карту промышленных вод территории СССР, на основе которой составлена схематическая карта перспективных районов СССР на различные типы промышленных вод [2, 6], составляются карты прогнозных ресурсов промышленных вод для отдельных регионов и территории СССР в целом.

Анализ региональных материалов и опыта разведки промышленных вод свидетельствует о том, что для разведки и геолого-промышленной оценки по особенностям характера залегания, распространения и гидродинамическим условиям месторождения промышленных вод могут быть подразделены на два основных типа: 1) месторождения, расположенные в крупных и средних артезианских бассейнах платформенных областей, краевых и предгорных прогибов, характеризующиеся относительно спокойным региональным распространением выдержанных продуктивных горизонтов, и 2) месторождения, приуроченные к водонапорным системам горно-складчатых областей, характеризующиеся наличием сложнодислоцированных структур с тектоническими нарушениями разрывного характера, разделяющими продуктивные водоносные горизонты одноименных стратиграфических комплексов.

Принадлежность месторождений промышленных вод к тому или иному типу определяет особенности проведения гидрогеологических исследований при их разведке и геолого-промышленной оценке.

При изучении месторождений промышленных вод и подготовке их к промышленному освоению необходимо прежде всего выявить: 1) размеры месторождения; 2) его положение в пределах водонапорной системы; 3) глубину залегания и мощность промышленной водоносной зоны; 4) гидрогеологические и гидродинамические особенности и т. д. Вместе взятые эти факторы позволяют оценить гидрогеологические условия месторождения, обосновать принципиальную расчетную схему, оценить количество, качество и условия залегания промышленных вод, провести геолого-промышленную оценку месторождения и наметить рациональные пути его освоения.

Несмотря на разнообразие условий залегания и распространения промышленных вод, для их месторождений характерны следующие общие черты, определяющие особенности их поисков и разведки: 1) расположение продуктивных горизонтов в глубоких частях артезианских бассейнов (глубина их залегания достигает 2000—3000 м и более); 2) широкое распространение продуктивных отложений, их относительная выдержанность и высокая водообильность; 3) значительные размеры месторождений и их эксплуатационных запасов; 4) проявление упруговодонапорного режима при эксплуатации; 5) наличие нескольких продуктивных горизонтов в разрезе месторождений; 6) ограниченность участков, в пределах которых рациональна эксплуатация месторождения, и др.

Каждая из перечисленных особенностей, характеризующих подземные промышленные воды, определяет особый подход при поисках и разведке их месторождений. Так, глубокое залегание продуктивного пласта и наличие в разрезе месторождения нескольких промышленных горизонтов обуславливает необходимость бурения глубоких дорогостоящих скважин и сложное геолого-гидрогеологическое опробование их, обеспечения возможности использования поисковых скважин для разведки, а разведочных для эксплуатации, широкого привлечения материалов региональных исследований и использования нефтяных и газовых скважин в поисково-разведочных целях. Широкое региональное распространение продуктивных отложений, большая глубина их залегания и особенности формирования эксплуатационных запасов при упруговодонапорном режиме эксплуатации приводят к необходимости изучения гидрогеологических параметров водоносных отложений на значительной территории их распространения и выявления геолого-структурных особенностей для установления границ эксплуатационных участков и т. д.

Функции поисковых, разведочных, разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин при исследовании промышленных вод особенно весомы и разнообразны. По результатам изучения разрезов скважин в процессе бурения (исследования керна, шлама,

глинистого раствора, механический каротаж, геофизические исследования, специальные методы) и последующего их опробования решаются задачи по стратиграфическому, литологическому и гидрогеологическому расчленению продуктивной части разреза, оценке физических свойств, химического и газового состава подземных вод, выявлению геохимической обстановки участка, коллекторских свойств продуктивных горизонтов, условий эксплуатации скважин, определению технологических показателей промышленных вод и т. д.

Наиболее целесообразными методами оценки эксплуатационных запасов являются гидродинамический, моделирование и реже гидравлические. Для месторождений промышленных вод крупных артезианских бассейнов платформенных областей и средних артезианских бассейнов краевых и предгорных прогибов, характеризующихся широким региональным распространением продуктивных горизонтов и сравнительно простыми гидрогеологическими условиями, наиболее целесообразно применение гидродинамических методов. Правомерность схематизации отдельных элементов гидрогеологических условий может быть обоснована результатами моделирования, опытными данными и т. д. При значительной степени изученности месторождения возможна оценка эксплуатационных запасов методами моделирования.

Для месторождений промышленных вод геосинклинальных областей, характеризующихся невыдержанностью продуктивных горизонтов и сложными гидрогеологическими условиями (неоднородность, наличие контуров питания, выклинивания, смещений и т. д.), целесообразно комплексное применение гидродинамических и гидравлических методов оценки эксплуатационных запасов. При значительной степени изученности возможно применение гидродинамических методов и моделирования, а на отдельных месторождениях в качестве самостоятельного метода оценки эксплуатационных запасов может быть рекомендован метод моделирования.

Существенное значение в геолого-промышленной оценке месторождений промышленных и термальных вод и выборе путей их рационального народнохозяйственного использования имеют технико-экономические расчеты и обоснования. Принципы таких расчетов и обоснований были изложены ранее (см. гл. IX, § 2 и 3) и детально рассмотрены в методическом пособии [6].

При разведке, геолого-промышленной оценке и обосновании проектов разработки месторождений промышленных вод следует иметь в виду возможность эксплуатации промышленных вод в условиях поддержания пластового давления (ППД). Возможность и целесообразность применения этого способа определяются отсутствием в настоящее время водоподъемного оборудования, обеспечивающего эксплуатацию скважин при понижениях уровня более 300 м от поверхности земли и дебитах скважин 500—1000 м³/сут и более, а также большими трудностями в организации сброса отработанных вод поверхностным путем (большая стоимость очистки

сточных вод, отсутствие объектов для сброса вод или их большая удаленность и т. д.). В таких условиях способ эксплуатации промышленных вод с обратной закачкой отработанных вод в продуктивные пласты и поддержанием в них необходимого пластового давления представляется наиболее выгодным. При этом наряду с поддержанием благоприятных условий эксплуатации скважин (высокий динамический уровень, возможность использования различных видов водоподъемного оборудования большой производительности, постоянство режима эксплуатации и т. д.) обеспечивается утилизация отработанных предприятием вод, создаются возможности существенного увеличения эксплуатационных запасов и более полной сработки естественных запасов промышленных вод, исключается загрязнение поверхностных водотоков и т. д.

Оценка эксплуатационных запасов промышленных вод и проектирование их разработки возможны лишь на основе учета и соответствующего прогноза условий работы эксплуатационных и нагнетательных скважин, характера и темпов продвижения закачиваемых в продуктивные пласты некондиционных вод, оценки масштабов разубоживания промышленных вод, обоснования наиболее рациональной схемы размещения водозаборных и нагнетательных скважин. Для решения указанных задач может возникнуть необходимость в постановке специальных опытных работ и испытаний скважин, применении моделирования для осуществления гидродинамических и гидрогеохимических прогнозов процесса разработки месторождения, разработки эффективных средств контроля и управления процессом эксплуатации водозаборных и нагнетательных скважин.

Термальные воды. К термальным относят воды с температурой выше 35°C (на практике нередко учитывают и воды с температурой более 20°C). С позиций практического использования термальных вод их подразделяют на низкопотенциальные (с температурой $35\text{—}70^{\circ}\text{C}$), среднепотенциальные ($70\text{—}100^{\circ}\text{C}$) и высокопотенциальные (с температурой выше 100°C).

Термальные воды широко распространены на территории СССР. Залегают они обычно на значительных глубинах в пределах платформенных и горно-складчатых областей, а также в областях молодого и современного вулканизма. Во многих районах термальные воды являются одновременно и минеральными (т. е. имеют бальнеологическую ценность), а нередко и промышленными (вернее, все промышленные подземные воды являются термальными). Это обстоятельство предопределяет большие перспективы их комплексного народнохозяйственного использования.

Прекрасный сказочный город Теплогорск с чистым воздухом и улицами, с термальными плавательными бассейнами, геотермальной электростанцией, обогреваемыми улицами, вечнозеленым парком, субтропической растительностью и целебными ваннами в домах, описанный в книге И. М. Дворова «Глубинное тепло Земли», — это не сказка, а завтрашняя реальность, которая воплотится в

жизнь благодаря использованию термальных подземных вод. Теплогорск — это прообраз городов ближайшего будущего на Камчатке, Чукотке и Курильских островах, в Западной Сибири и многих других районах СССР.

Термальные воды используются в теплоэнергетике, отоплении, для горячего водоснабжения, хладоснабжения (создания высокоэффективных холодильных установок), в парниково-тепличном хозяйстве, в бальнеологии и т. д.

Для разведки и оценки эксплуатационных запасов месторождения термальных вод могут быть типизированы следующим образом: 1) месторождения артезианских бассейнов платформенного типа, 2) месторождения артезианских бассейнов горно-складчатых областей, 3) месторождения трещинно-жильного типа горно-складчатых областей.

По данным региональной оценки эксплуатационных запасов термальных вод СССР, подавляющая их часть (более 90%) приходится на месторождения первых двух типов, т. е. на месторождения пластового типа артезианских бассейнов платформ и горно-складчатых областей [11].

Месторождения термальных вод первых двух типов аналогичны соответствующим типам месторождений промышленных вод, особенности поисков и разведки которых были рассмотрены ранее. Для оценки эксплуатационных запасов термальных вод таких месторождений наиболее эффективен гидродинамический метод. Однако для месторождений второго типа, приуроченных к глубоким частям разреза малых и средних артезианских бассейнов предгорных и межгорных впадин и характеризующихся сложными гидрогеологическими и геотермическими условиями, наиболее приемлемым может оказаться гидравлический или комбинированный метод оценки запасов, что предопределяет и специфику проведения поисково-разведочных работ.

Месторождения трещинно-жильного типа горно-складчатых областей связаны, как правило, с зонами крупных тектонических нарушений, развитых на фоне слаботрещиноватых пород. Среди них выделяют месторождения перегретых вод (парогидротерм) в районах современного и недавнего вулканизма с температурами вод от 150 до 200—300°C и месторождения термальных вод (с температурой до 100°C) как в районах современного и недавнего вулканизма, так и вне областей молодой вулканической деятельности в складчатых районах, испытавших воздействие неотектонических процессов. Минерализация вод этих месторождений редко превышает 5—10 г/л, они обычно приурочены к интрузивным, метаморфическим и вулканогенно-осадочным комплексам пород, разбитым системой тектонических нарушений, отличаются очень сложным строением, сильной фильтрационной и геотермической неоднородностью, локальным распространением и, как правило, небольшими размерами. По сложности гидрогеологических условий их обычно относят к месторождениям 3-й группы сложности [9, 11].

Месторождения трещинных систем районов современного и недавнего вулканизма отличаются небольшой глубиной залегания, высокой температурой и небольшой минерализацией термальных вод, наличием многочисленных термоаномалий, трещиноватостью коллекторов, проявлением парогидротерм (характеризуются температурой, дебитом, давлением пара и уровнем воды, определяющими высоту выброса воды и пара). На стадии поисков эффективны аэрофотосъемка, поверхностная термометрическая съемка (измерение температуры в источниках, поверхностных водоемах, грязевых котлах и т. д.), гидрогеологическая съемка, геофизические исследования. Месторождения и участки оконтуривают с помощью геотермических карт и профилей. Разведочные скважины размещают вдоль установленных тектонических нарушений, к которым приурочены очаги разгрузки парогидротерм.

Эксплуатационные запасы оценивают обычно гидравлическим методом. Для оценки парогидротерм необходимо прогнозировать все характеризующие их компоненты (температуру, расход пара и его давление, уровень воды).

Месторождения трещинных систем изверженных и метаморфических пород, омоложенных горно-складчатых систем характеризуются выходами термальных вод по линиям тектонических нарушений, незначительными естественными запасами термальных вод, влиянием на их режим и условия движения вышезалегающих подземных вод. Поэтому на стадии поисков здесь целесообразны крупномасштабная структурно-гидрогеологическая и термометрическая съемки (выявление тектонических нарушений, зон трещиноватости, зон движения термальных вод и т. д.). В скважинах целесообразно проведение комплекса термометрических и геофизических исследований и их зонального гидрогеологического опробования. На стадии предварительной разведки закладываются, исследуются и опробуются длительными опытно-эксплуатационными откачками (выпусками) разведочно-эксплуатационные скважины (с систематическими наблюдениями за режимом расходов, уровней, температуры, химического состава подземных вод). Эксплуатационные запасы лучше оценивать гидравлическим методом, совмещая предварительную разведку с детальной. При возможности подтягивания в процессе эксплуатации некондиционных по температуре вод целесообразно предварительно заложить наблюдательные скважины по створу, проходящему через зону разгрузки термальных вод.

К специфическим вопросам, требующим своего решения при оценке эксплуатационных запасов термальных вод, относятся следующие: 1) прогноз температуры воды на устье эксплуатационной скважины (по термометрическим наблюдениям по стволу скважины и с помощью аналитических решений), 2) оценка и учет влияния газового фактора (измерение газового фактора и введение поправок при определении и прогнозах положения уровней воды), 3) расчеты и прогнозы по подтягиванию контуров холодных вод из обла-

стей питания и разгрузки подземных вод. Детально вопросы поисков, разведки и геолого-промышленной оценки месторождений термальных вод рассмотрены в руководствах [9, 11, 13, 15].

ГЛАВА XII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ОРОШЕНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Мелиорация сельскохозяйственных земель, основными задачами которой являются коренное улучшение плодородия земель, повышение их урожайности и устойчивый подъем сельскохозяйственного производства, рассматривается в нашей стране как основа научно-технической революции в сельском хозяйстве. Вопросы мелиорации и, в частности, развитие орошаемого земледелия — предмет особой заботы партии и правительства с первых дней Советской власти. Грандиозная программа мелиоративного и гидротехнического строительства, намеченная на майском (1966 г.) Пленуме ЦК КПСС получила дальнейшее подтверждение и развитие в решениях последующих съездов КПСС и на майском (1982 г.) и октябрьском (1984 г.) Пленумах ЦК КПСС. На этих Пленумах разработаны «Продовольственная программа СССР» и «Долговременная программа мелиораций и повышения эффективности использования мелиорированных земель на двенадцатую пятилетку и на перспективу до 2000 года».

Общую площадь орошаемых в нашей стране земель к 2000 г. намечается довести до 30—32 млн. га, осушаемых — до 19—21 млн. га.

Огромные масштабы мелиоративных работ предстоит выполнить в ближайшие годы в Нечерноземной зоне РСФСР, Поволжье, Полесье, Казахстане, Молдавии, Средней Азии, на Украине, Северном Кавказе и других районах страны. При этом особое внимание должно быть обращено на научное обоснование проектов мелиоративных систем, на рациональное использование водных и земельных ресурсов, на повышение эффективности осуществляемых мелиораций.

В выполнении намеченной программы мелиоративного и гидротехнического строительства огромная роль отводится специалистам гидрогеологам, особенно в части научного гидрогеологического обоснования проектируемых мероприятий и рационального использования и регулирования режима подземных вод.

Орошение, под которым понимается искусственное увлажнение почвы с целью повышения ее плодородия, — один из основных видов инженерных мелиораций, имеющих чрезвычайно широкие перспективы развития в нашей стране. Агроклиматическая потребность в орошении наблюдается на площади свыше 500 млн. га, перспективная для орошения площадь составляет

около 140 млн. га [5]. Необходимость в орошении ощущается главным образом в засушливой зоне и зоне недостаточного увлажнения¹. Однако и осушенные земли в связи с сезонными колебаниями водообеспеченности нередко нуждаются в дополнительном увлажнении. В силу зонального характера распределения атмосферных осадков и запасов поверхностных вод (86% ресурсов поверхностных вод формируется в северо-восточных районах страны и стекает в бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов и лишь 14% приходится на южные и западные районы) территории, подлежащие орошению, располагаются в самых разнообразных по геологическим, геоморфологическим и гидрогеологическим условиям районах страны и главным образом в районах засушливого климата с ограниченными запасами поверхностных вод. Все это в значительной мере усложняет решение задач, связанных с орошением земель, как в части обеспечения необходимого запаса водных ресурсов, так и в части гидрогеологического обоснования проектов систем орошения.

Большие задачи возникают на массивах орошения в связи с необходимостью прогноза и регулирования режима грунтовых вод в целях обеспечения благоприятного водно-солевого режима и исключения возможности вторичного засоления земель вследствие подъема уровня грунтовых вод и их последующего испарения через зону аэрации. Опыт показывает, что на многих массивах орошения уровень грунтовых вод поднимается со скоростью от 0,2—0,5 до 2—3 м в год. Поэтому одной из важнейших задач при проектировании систем орошения является гидрогеологическое обоснование дренажных сооружений.

Таким образом, при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации систем орошения возникает необходимость в научном гидрогеологическом обосновании важнейших задач, начиная от перспективного планирования мелиоративных мероприятий и кончая квалифицированным гидрогеологическим обслуживанием действующих систем орошения. Для обеспечения успешного решения поставленных задач необходимы определенные гидрогеологические исследования, среди которых особая роль отводится обоснованию проектов строительства оросительных систем.

§ 1. Задачи и стадийность гидрогеологических исследований для целей орошения

Гидрогеологические исследования для целей орошения проводятся в связи с необходимостью решения следующих основных задач: 1) общей гидрогеолого-мелиоративной оценки территорий и перспективного планирования оросительных мелиораций; 2) вы-

¹ Более 60% пашни и около 70% всех с/х угодий нашей страны расположены в засушливых районах.

бора объектов для первоочередного сельскохозяйственного освоения; 3) изучения геолого-гидрогеологических условий, предназначенных для мелиоративного освоения территорий, как необходимой основы для обоснования проектирования систем орошения; 4) изучения естественного режима подземных вод и прогноза его возможных изменений как основы для разработки наиболее оптимальной системы мероприятий по управлению водным режимом в пределах массива орошения; 5) гидрогеологического обоснования условий работы и проектирования дренажных сооружений; 6) изыскания и оценки возможных источников воды для орошения и условий транспортировки оросительной воды на массив орошения; 7) оценки условий и эффективности работы систем орошения и дренажа и обоснования мероприятий, обеспечивающих оптимальные условия их работы.

Из перечисленных задач следует, что необходимость в выполнении определенного комплекса гидрогеологических исследований возникает как при обосновании проектов мелиоративного освоения конкретных территорий, так и при общих региональных оценках и перспективном планировании орошения, т. е. для предпроектных проработок. Кроме того, гидрогеологические исследования выполняются в период мелиоративного строительства и последующей эксплуатации систем орошения.

Излагаемые в настоящем параграфе основные положения по планированию и проектированию орошения являются общими для различных видов мелиоративного строительства и освоения сельскохозяйственных земель, т. е. для орошения, обводнения и осушения.

Региональные исследования (исследования в предпроектный период). На первом этапе предпроектных исследований в целях предварительной оценки изучаемой территории и разработки программы мелиоративного ее освоения (схемы) обобщаются и целенаправленно анализируются полученные по региону материалы предшествующих исследований. Обобщение и анализ должны завершаться составлением схематических мелкомасштабных карт или схем гидрогеолого-мелиоративного районирования территорий в границах регионов, планируемых для мелиоративного освоения.

Основными исходными материалами для составления таких обзорных карт районирования служат гидрогеологические и инженерно-геологические карты масштабов 1 : 2 500 000—1 : 1 000 000, а также более крупных масштабов (1 : 500 000 и 1 : 200 000). Особый интерес представляют материалы многотомного издания «Гидрогеология СССР», крупные обобщающие работы, а также материалы опорной государственной сети гидрогеологических и инженерно-геологических партий Министерства геологии СССР.

На втором этапе осуществляются исследования с целью составления технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности мелиоративного освоения территории и выбора перво-

очередных объектов для проектирования мелиоративного строительства. Для решения задач ТЭО проводится комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка в масштабе 1 : 200 000. В качестве основы для проведения съемочных работ используются геологическая и геоморфологическая карты масштабов 1 : 200 000 или 1 : 100 000.

В результате съемочных работ и использования в качестве исходных материалов мелкомасштабных обзорных гидрогеологических карт, схемы гидрогеолого-мелиоративного районирования и всех предшествующих региональных исследований должны быть составлены гидрогеологическая карта по государственной съемке (в полном соответствии с требованиями СУСНа) и карта гидрогеологического районирования с характеристикой инженерно-геологических условий для целей мелиорации масштаба 1 : 200 000 и пояснительной запиской.

При достаточной изученности оцениваемой в мелиоративном отношении территории и наличии государственной гидрогеологической карты масштаба 1 : 200 000 или крупнее съемочные работы не проводятся, а карта гидрогеологического районирования для целей мелиорации составляется по собранным материалам (при необходимости с проведением некоторого объема дополнительных исследований). При районировании выделяются: территории, различающиеся по условиям мелиоративного освоения; определяются предварительно состав необходимых мелиоративных мероприятий и способы их выполнения (орошение, осушение и дренаж); устанавливаются типы дренажных сооружений и условия их работы; выявляются возможности использования для орошения подземных вод и оцениваются их ресурсы; осуществляется ориентировочная сравнительная технико-экономическая оценка условий мелиоративного освоения отдельных массивов и площадей изучаемой территории и т. д. На основе выполненных исследований составляются региональные схемы комплексного использования водных и земельных ресурсов, устанавливаются объекты первоочередного хозяйственного освоения, обосновываются способы мелиораций и задачи дальнейших исследований.

Исследования для обоснования проектов орошения. В соответствии с действующими положениями [6, 9] проектирование мелиоративного строительства осуществляется в две стадии: проект и рабочая документация, или в одну стадию — рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости строительства проектируемого объекта.

Состав и объем исследований (изысканий), выполняемых для обоснования проектов мелиоративного строительства, зависит от характера проектируемых сооружений, размеров предназначенной для мелиоративного освоения площади, сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий района, степени их изученности и других факторов. При несложных природных условиях и сравнительно незначительной площади орошения

(до 500 га), а также при сложных условиях и небольшой площади исследований (до 300 га) проектирование орошения осуществляется в одну стадию, и гидрогеологические исследования проводятся для обоснования технорабочего проекта с обеспечением всех данных, необходимых для проектирования орошения.

Проект. Для обоснования проекта оросительной системы исследования ведутся в пределах массивов, орошение которых признано целесообразным и экономически эффективным на предшествующем этапе исследований. Задачи исследований — изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории и их мелиоративная оценка для выбора и обоснования состава и способов проведения мелиоративных мероприятий; получение необходимых расчетных значений параметров для зон аэрации и насыщения, используемых при проектировании сооружений систем орошения и дренажа, а также прогноза условий их работы; изучение режима и баланса подземных вод и получение исходных данных для прогноза режима грунтовых вод и водно-солевого баланса в условиях орошения и т. п.

Для решения поставленных задач на стадии обоснования проекта выполняется обычно наиболее полный комплекс специальных исследований, включающий проведение специализированной комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 50 000, разведочных и опытно-фильтрационных работ, стационарных исследований по изучению режима грунтовых вод и водно-солевого баланса, лабораторных работ, геофизических исследований и камеральной обработки материалов.

Исследования на данной стадии проектирования наиболее важны и ответственны, так как они должны обеспечить обоснование состава и способов осуществления мелиоративных мероприятий и их стоимости.

В результате исследований на этой стадии составляется гидрогеологическое обоснование условий работы всех элементов системы орошения; осуществляются и уточняются прогнозы режима грунтовых вод, водно-солевого баланса орошаемой территории, развития инженерно-геологических процессов; уточняются эксплуатационные запасы подземных вод (при их использовании для орошения), условия строительства различных сооружений; определяются технико-экономические показатели проектируемой системы орошения.

На основе мелиоративной оценки изучаемой территории (специализированная съемка и другие работы) составляется комплекс крупномасштабных (1 : 50 000—1 : 25 000), необходимых для обоснования проектирования карт (ландшафтно-индикационная, глубин залегания, минерализации и химического состава подземных вод, гидродинамическая, карты геолого-генетических комплексов, состава и засоления пород, засоления почв и пород зоны аэрации и, наконец, карта гидрогеологического и инженерно-геологического районирования для целей мелиорации), среди которых

наиболее важной является результирующая карта районирования по условиям мелиоративного освоения рассматриваемой территории. Методика составления перечисленных типов специализированных карт детально рассматривается в действующем методическом руководстве, где представлен также атлас макетов типовых карт, выполняемых для целей мелиорации [9].

Рабочая документация. На данной стадии проектирования гидрогеологические исследования выполняются в основном для конкретизации отдельных вопросов гидрогеологии и инженерной геологии, связанных с уточнением размещения и конструктивных особенностей отдельных сооружений системы орошения (каналов, дрен, водозаборных и регулирующих сооружений и т. д.) и возникающих в процессе проектирования, могут осуществляться дополнительные проработки и исследования, уточняющие материалы проекта.

Исследования в период строительства и эксплуатации систем орошения. Задачи гидрогеологических исследований в период строительства и эксплуатации оросительных систем аналогичны задачам эксплуатационной разведки при осуществлении водоснабжения (см. гл. IX). Они заключаются прежде всего в обеспечении квалифицированного гидрогеологического надзора за строительством и эксплуатацией систем орошения, в уточнении гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей массива орошения и внесении соответствующих корректив в проекты отдельных сооружений, уточнении прогнозов режима подземных вод и условий работы отдельных сооружений (водозаборных, дренажных, транспортирующих и др.), в обосновании наиболее рациональных режимов эксплуатации отдельных сооружений и системы орошения в целом. Комплекс проводимых при этом исследований включает соответствующую геологическую, гидрогеологическую и инженерно-геологическую документацию в процессе строительства различных инженерных сооружений и бурения скважин режимной сети, различного рода опытно-экспериментальные работы, стационарные наблюдения за режимом и балансом подземных вод, контроль за эффективностью работы различных сооружений и мелиоративным состоянием орошаемых земель. Наблюдения при изучении режима подземных вод и осуществлении контроля за мелиоративным состоянием земель проводятся с использованием материалов региональной сети гидрогеологических партий, временной наблюдательной и внутрихозяйственной наблюдательной сетей, закладываемых в пределах орошаемых территорий.

Гидрогеологические исследования для целей мелиоративного строительства (в том числе и орошения) выполняются специализированными организациями Минводхоза и Министерства геологии СССР. Эти исследования отличаются определенной спецификой как в отношении их состава, так и используемой методики проведения [2—4, 6—11].

§ 2. Некоторые особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей орошения

Требования к гидрогеологическим исследованиям для целей орошения. Содержание, состав и методика исследований для целей орошения в значительной степени определяются требованиями, предъявляемыми к гидрогеологическому обоснованию проектов мелиоративного строительства и к исходной информации, полученной в результате исследований.

Основным видом комплексных исследований для составления ТЭО и обоснования проектов орошения является комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштабов 1:200 000 и 1:50 000. Комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические съемки масштаба 1:200 000 проводятся на территориях, по которым имеются государственные геологические карты в масштабе 1:200 000. При отсутствии таких карт геологическая съемка осуществляется вместе с гидрогеологической и инженерно-геологической. Съемка должна отвечать требованиям, предъявляемым к государственной гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000, и соответствовать дополнительным требованиям, определяемым спецификой мелиоративного строительства. В частности, обязательна информация, дающая четкое представление о структуре водного и солевого баланса всей изучаемой территории и раздельно баланса грунтовых вод и зоны аэрации. Это требует особого изучения гидрогеологических показателей изменяющихся во времени (динамики уровней и минерализации горизонтов, влажности и солей в зоне аэрации, инфильтрации, испарения и др.), а также тщательного изучения и картирования строения, состава и свойств толщи пород мощностью 20—30 м (зона активного водо- и солеобмена под влиянием орошения и дренажа) и влияющих на ее состояние факторов.

При проведении съемки для целей мелиорации особо тщательному изучению подлежат: 1) морфогенетические типы рельефа, их отдельные элементы, уклоны, микрорельеф и связь их с тектоникой, все основные геолого-генетические комплексы пород (состав, мощности, распространение, условия залегания); 2) водоносные горизонты и комплексы, залегающие выше регионального водоупора и связанные с ними нижележащие горизонты; 3) условия питания, распространения и залегания грунтовых вод и верховодки, их связь с поверхностными и подземными напорными водами, глубины залегания; 4) изменение минерализации и химического состава подземных вод по площади и в разрезе, характера и степени засоленности пород зоны аэрации; 5) основные гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и комплексов, залегающих выше регионального водоупора, условия их взаимосвязи с поверхностными и нижележащими напорными водами, параметры пород зоны аэрации; 6) инженерно-геологические

факторы, явления и процессы, определяющие условия мелиоративного строительства; 7) режим поверхностных и подземных вод и его изменение во времени (в течение не менее одного года).

Требования к комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 50 000 для обоснования проектов орошения идентичны вышеизложенным. Необходимы лишь более высокая степень детальности изучения всех перечисленных выше вопросов и получение достаточно надежных количественных оценок и характеристик. Большое внимание при съемке должно быть уделено изучению пород зоны аэрации и водонасыщенной толщи до первого регионального водоупора и получению всех необходимых их характеристик и параметров. Детальнейшим образом должны быть изучены и закартированы верховодка и грунтовые воды, глубины залегания и распространения местных и региональных водоупоров, фильтрационные свойства пород зоны аэрации и водонасыщенной толщи, их засоленность и гидрогеохимические показатели. При использовании подземных вод для орошения должны быть оценены эксплуатационные запасы и условия их восполнения и т. д.

Вся полученная в процессе комплексных съемок информация должна быть обобщена в виде отчета с приложением необходимых карт в масштабе съемки, колонок, разрезов, схем и других картографических и табличных приложений [9].

В результате съемочных работ масштаба 1 : 200 000 к отчету должны быть составлены следующие карты: фактического материала, ландшафтно-индикационная, геоморфологическая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, гидрогеологического и инженерно-геологического районирования для целей орошения. При съемочных работах масштаба 1 : 50 000 дополнительно составляются карты геолого-литологическая, минерализации, химического состава и глубины залегания грунтовых вод, геолого-генетических комплексов и состава пород (для толщи до регионального водоупора), гидродинамическая, солевого состава и степени засоления пород зоны аэрации и водного питания болот (для гумидной зоны). Содержанием указанных карт определяются и содержание исследований и их особенности в сравнении со съемкой общего назначения.

Гидрогеологические исследования по изучению режима, водного и солевого балансов подземных вод должны обеспечить необходимую исходную информацию для обоснования режима орошения, дренажа и других прогнозов. Изучается режим и баланс грунтовых вод и связанных с ними напорных водоносных горизонтов с обязательным количественным определением элементов водного и солевого балансов и их зависимости от основных режимообразующих факторов. В частности, существенно выявить зависимость инфильтрационного питания грунтовых вод и их расходования на испарение и транспирацию (для всех основных литолого-генетических комплексов отложений) от глубины зале-

гания грунтовых вод, метеорологических и других факторов. Для балансовых районов должны быть установлены основные приходные и расходные статьи водного баланса для грунтовых вод, зоны аэрации и орошаемого массива в целом. Для районов вторичного засоления должен быть дополнительно изучен солевой баланс (грунтовых вод, зоны аэрации и общий) с отдельным определением каждого из элементов баланса.

Достоверность определения фильтрационных параметров должна обеспечивать возможность выполнения прогнозов режима уровня грунтовых вод с вероятностью 0,7—0,8. В каждом конкретном случае следует стремиться к тому, чтобы фильтрационная схема, положенная в основу определения параметров, являлась аналогом последующих расчетных схем, для реализации которых потребуются эти параметры. Для определения параметров используются откачки, наливы, экспресс-методы, наблюдения за режимом, лабораторные работы, моделирование (см. гл. IV). Более трудоемкие и точные методы определения фильтрационных свойств (кустовые откачки и наливы) используются для обоснованной экстраполяции их результатов при массовом применении менее точных и трудоемких методов (лабораторных, экспресс-методов, одиночных откачек). Послойное определение фильтрационных свойств выполняется с помощью откачек, лабораторных и экспресс-методов, опытных наливов.

Гидрохимические параметры (коэффициенты диффузии и растворения солей, скорость фильтрации, активная пористость, содержание солей и др.) должны быть изучены в пределах всех типовых участков. Для этого выполняются специальные индикаторные и лабораторные определения (см. гл. IV, § 6 и гл. VI, § 1), включающие химические анализы проб воды и водных вытяжек, а также изучение ионно-солевого комплекса пород зоны аэрации (порowych растворов, слаборастворимых солей, емкости и состава поглощенных катионов). Изучением параметров водно-солевого режима должна быть охвачена толща пород мощностью не менее 3 м, а при возможности и вся зона аэрации.

Прогнозы режима уровней и химического состава грунтовых вод должны выполняться для всей территории, охваченной влиянием мелиоративных мероприятий, количественными методами с указанием их достоверности.

Чрезвычайно важными являются требования к изучению возможности применения вертикального дренажа при орошении. На участках возможного применения дренажа должны быть детально изучены литологические особенности всей толщи отложений вплоть до регионального водоупора, определены гидрогеологические и гидрохимические параметры покровных отложений и водоносных пластов, в которых будет действовать дренаж, выявлена и количественно оценена гидравлическая связь грунтовых вод с поверхностными и напорными водами, достоверно установлена расчетная схема действия дренажа и обоснован прогноз условий

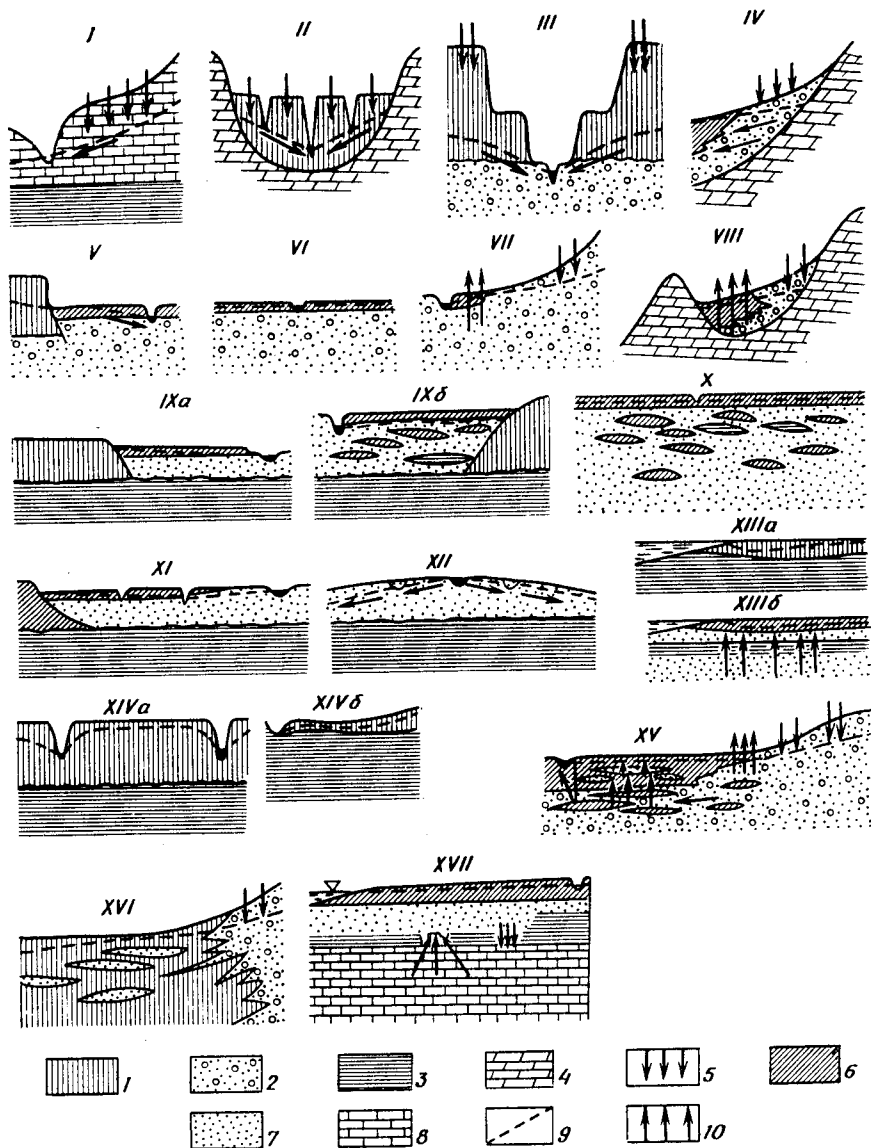


Рис. 46. Типы гидрогеологических условий (I–XVII) орошаемых районов СССР (по Д. М. Кацу):

1 — суглинки, супеси преимущественно лёссовидные, 2 — гравийно-галечниковые отложения, 3 — водоупорные породы, 4 — дочетвертичные породы различного состава, 5 — нисходящие токи воды, 6 — суглинки, глины, супеси, 7 — пески, 8 — хорошо водопроницаемые дочетвертичные породы, 9 — уровень грунтовых вод, 10 — восходящие токи напорных вод

его работы методами, обеспечивающими учет основных факторов, определяющих эффективность работы вертикального дренажа.

Типы гидрогеологических условий орошаемых территорий. Гидрогеологические условия орошаемых земель определяют принципиальную схему и методы орошения, а также особенности проведения изысканий и прогнозов. В этой связи большое практическое значение имеет типизация орошаемых территорий. Типы орошаемых территорий в СССР чрезвычайно разнообразны [7, 9]. В зависимости от естественной дренированности земель, граничных условий в плане и разрезе и наличия напорного питания грунтовых вод, с некоторой условностью и схематизацией Д. М. Кацем выделено 17 типов орошаемых районов СССР (рис. 46), которые по сложности гидрогеологических условий для целей мелиораций объединены в следующие три группы (табл. 4).

Таблица 4

Группы	Типы гидрогеологических условий	Геоморфологические условия	Характер подземных вод, формы связи грунтовых вод с напорными	Преобладающие зоны естественной дренированности
Первая	Сравнительно простые гидрогеологические условия	I. Горные склоны и равнины, сложенные трещиноватыми дочетвертичными породами	Грунтовые воды трещинного типа	Интенсивно дренированная
		II. Глубоко расчлененные предгорные равнины	Грунтовые воды	То же
		III. Верхние (древние) глубоко расчлененные аллювиальные террасы	Преимущественно грунтовые воды	»
		IV. Верхние привершинные галечниковые части конусов выноса рек, предгорные шлейфы	Грунтовые воды	»
Вторая	Гидрогеологические условия средней сложности	V. Нижние и средние террасы, сложенные галечниками в межгорных впадинах	То же	Дренированная
		VI. Верхние части субэкральных дельт, сложенные галечниками	»	Слабо дренированная, реже дренированная

Продолжение табл. 4

Группы	Типы гидро-геологических условий	Геоморфологические условия	Характер подземных вод, формы связи грунтовых вод с напорными	Преобладающие зоны естественной дренированности
		VII. Несовершенные конуса выноса	Грунтовые воды и единые водоносные комплексы грунтовых и напорных вод	Дренированная
		VIII. Межадырные впадины	То же	»
Третья	Сложные гидрогеологические условия	IX. Средние и верхние аллювиальные террасы на платформенных равнинах	Грунтовые воды	Слабо дренированная и весьма слабо дренированная
		X. Субаэральные дельты рек на платформенных равнинах	То же	Весьма слабо дренированная и бессточная
		XI. Пойменные террасы рек на платформенных равнинах	Грунтовые воды (вблизи уступа верхней террасы могут быть напорными)	То же
		XII. Дельты рек — древние и приморские	Грунтовые воды	Бессточная
		XIII. Приморские низменности	Грунтовые воды (XIII а) и единые водоносные комплексы грунтовых и напорных вод (XIII б)	»
		XIV. Водораздельные равнины платформ и предгорий и др.	Грунтовые воды	Весьма слабо дренированная и бессточная
		XV. Конусы выноса с хорошо развитым периферическим шлейфом тонкообломочных отложений	Грунтовые воды в верхней части конуса выноса (подрайон а) и единые водоносные комплексы грунтовых и напорных вод в центральной и периферической частях (подрайоны б и в)	Интенсивно дренированная (подрайон а), дренированная и слабо дренированная (подрайон б), весьма слабо дренированная (подрайон в) и бессточная в межконусных понижениях
		XVI. Слившиеся периферические части конусов выно-	То же	Весьма слабо дренированная и бессточная в

Группы	Типы гидро-геологических условий	Геоморфологические условия	Характер подземных вод, формы связи грунтовых вод с напорными	Преобладающие зоны естественной дренированности
		са, образующие слабоволнистую предгорную равнину со скрытой и растянутой зоной выклинивания минерализованных подземных вод XVII. Широкие аллювиальные террасы на платформах и приморские низменности	Единые водоносные комплексы грунтовых и напорных вод (подрайон а) и грунтовые воды, имеющие отток в дочетвертичные породы (подрайон б) или изолированные от последних водоупором (подрайон в)	подрайонах б и в Весьма слабо дренированная и бессточная

Примечание. Основные типы орошаемых районов (I—XVII) и подрайонов (а, б, в) показаны на рис. 50.

Первая группа — районы со сравнительно простыми гидрогеологическими условиями. Характеризуются интенсивной естественной дренированностью земель с устойчиво глубоким залеганием грунтовых вод, питание которых полностью балансируется подземным оттоком. Грунтовые воды в почвообразовании не участвуют. Необходимы меры по борьбе с фильтрацией воды из каналов (особенно в условиях первого и четвертого типов орошаемых районов).

Режим грунтовых вод в большинстве районов этой группы не нуждается в регулировании.

Вторая группа — районы с гидрогеологическими условиями средней сложности. Характеризуются в основном удовлетворительной естественной дренированностью и распространением пресных вод, уровень которых до орошения залегает на различной глубине, при орошении поднимается до глубины от 0,5—1 до 4—5 м. Для районов VIII и IX характерно развитие единых водоносных комплексов грунтовых и напорных вод с неглубоким залеганием их уровня в зонах выклинивания. Грунтовые воды могут вызывать заболачивание почв, реже слабое их засоление. Регулирование режима грунтовых вод необходимо в большинстве случаев для борьбы с заболачиванием почв и их слабым засолением и может быть достигнуто применением дренажа и других мелиоративных мероприятий.

Третья группа — районы со сложными гидрогеологическими условиями. Отличаются слабой и весьма слабой естественной дренированностью или бессточностью, поэтому грунтовые воды в основном повышенной минерализации. В районах XIIIб, XV, XVI и частично XVII имеет место глубинное питание грунтовых вод и неглубокое положение их уровня (вплоть до выклинивания). В других районах глубина залегания грунтовых вод разная, но после орошения их уровень находится обычно на глубине менее 2—4 м, что неизбежно приводит к засолению почв, если не применять предупредительные меры. Во всех районах этой группы для регулирования режима подземных вод целесообразен дренаж, исключающий засоление и заболачивание почв при орошении.

Для всех выделенных типов районов орошения в результате проведения комплекса гидрогеологических, инженерно-геологических и других исследований устанавливаются геологическое строение и гидрогеологические условия толщи отложений до регионального водоупора (включая и питающие горизонты напорных вод), определяются все необходимые для расчетов гидрогеологические параметры, изучается режим и баланс подземных вод, инженерно-геологические условия мелиоративного строительства и т. д. Однако почти каждый из выделенных и представленных на рис. 46 типовых районов орошения требует определенной специфики проведения гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, обусловленных его природными особенностями (геологическим строением, степенью дренированности, литологическими особенностями и фильтрационными свойствами водоносных отложений и пород зоны аэрации, наличием глубинного питания грунтовых вод и т. п.). Детально специфика исследований в пределах выделенных типовых районов рассмотрена в руководствах [7, 9].

Особенности проведения гидрогеологических исследований для целей орошения. Особенности гидрогеологических исследований для орошений предопределяются спецификой мелиоративного освоения территорий, предъявляемыми к исследованиям требованиями и природными условиями орошаемых территорий. Детальный анализ этих особенностей приведен в методическом руководстве [9]. Ниже кратко освещены особенности съемочных работ и стационарных наблюдений как основных видов специализированного изучения и оценки мелиорируемых территорий.

Орошение, как известно, вызывает серьезные изменения сложившегося в естественных условиях водно-солевого баланса. Для обоснованного прогноза этих изменений в процессе исследований важно особо тщательно изучить динамику уровня и минерализации грунтовых вод, динамику влажности и состава солей в толще пород зоны аэрации, изменение инфильтрации и испарения, гидрометеорологические показатели, что и составляет одну из особенностей съемочных работ.

Важным моментом является также изучение гидродинамических условий и особенностей потоков подземных вод в пределах границ естественных их бассейнов независимо от контуров подлежащей орошению территории, так как только такое изучение обеспечивает правильное и полное выявление гидродинамики подземных вод. В качестве нижней границы изучаемых потоков рассматривается обычно первый от поверхности региональный водоупор, включая и нижележащий напорный горизонт, если он имеет гидравлическую связь с изучаемым потоком грунтовых вод. Установление взаимосвязи и ее количественная оценка — также одна из характерных черт выполняемых исследований (особенно в плане обоснования возможности применения вертикального дренажа и использования подземных вод напорного горизонта для орошения).

Особенностью выполняемых исследований является также необходимость тщательного изучения и картирования геологического строения и водно-физических (преимущественно фильтрационных) свойств толщи пород до первого регионального водоупора (обычно мощностью 20—50 м) с детальным изучением состава и свойств пород зоны аэрации (фильтрационных, водно-физических, физико-механических и др.).

Большое значение в период исследований придается изучению и оценке эффективности действия существующих мелиоративных систем и всестороннему анализу опыта их работы. Это требует постановки и проведения стационарных наблюдений, которые начинают в процессе съемки и продолжают как самостоятельный вид исследований в процессе строительства и эксплуатации мелиоративных сооружений.

Комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические съемки осуществляются как многоцелевой и комплексный вид исследований природных условий, предусмотренных для мелиоративного освоения территорий. Они включают следующие виды и методы исследований: маршрутные, геоботанические, геофизические, аэрометоды, ландшафтно-индикационные, разведочные и горные работы, опытно-фильтрационные, лабораторные, режимные, пенетрационно-каротажные и др. (см. гл. II). При этом чрезвычайно важным вопросом методики съемочных работ является комплексирование исследований. При среднемасштабных съемках (1 : 200 000) используются косвенные методы (аэрофотосъемка, геоморфологические и геоботанические наблюдения, геофизические исследования и др.), обеспечивающие быстрое получение необходимой информации, но невысокую ее достоверность и надежность. При съемке масштаба 1 : 50 000 преимущество отдается прямым методам (визуальные и аэровизуальные, гидрогеологические, геолого-литологические и другие наблюдения, горно-буровые, опытно-фильтрационные, гидрологические, лабораторные, режимные и другие работы), обеспечивающим получение более достоверной и надежной информации. Комплексирование

различных методов исследований осуществляется с учетом их эффективности и особенностей природных условий изучаемых объектов. Съемку обычно проводят в два этапа. На первом этапе проводятся маршрутные исследования в сочетании с площадными геофизическими, ландшафтно-индикационными и другими методами. В пределах каждого из морфогенетических типов рельефа вкрест их простираения закладываются опорные геофизические профили (два-три в каждом типовом районе) и с проходкой на них двух-трех скважин глубиной до регионального водоупора и одной скважины с полным вскрытием геолого-литологического разреза в каждом морфогенетическом районе. Наряду с геофизическими, ландшафтно-индикационными и маршрутными исследованиями в пределах опорных профилей изучается разрез отложений (на глубину 20—30 м) с помощью пенетрационно-каротажных исследований.

Камеральная обработка результатов исследований первого этапа позволяет составить несколько различных разрезов, схем и карт с выделением типовых по гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям и другим показателям районов и наметить состав и порядок проведения дальнейших исследований в каждом районе. Более обоснованно определяются объемы и рациональное сочетание разведочных горно-буровых, опытно-фильтрационных, лабораторных и других видов исследований второго этапа. Работы второго этапа в пределах выделенных типовых участков и детализация исследований по направлениям опорных профилей обеспечивают последующую обоснованную экстраполяцию получаемых результатов на всю изучаемую территорию и высокую общую экономическую и геологическую эффективность выполняемых исследований.

Стационарные наблюдения за режимом и балансом подземных вод представляют самостоятельный вид исследований, осуществляемый в период изысканий, строительства и эксплуатации мелиоративных систем. На всех этапах организация режимных наблюдений подчинена одной и той же цели — выявлению роли различных естественных и искусственных факторов в формировании режима подземных вод. Однако полнота достижения этой цели на каждом этапе разная и зависит от детальности исследований и степени приближения представлений о гидрогеологическом процессе к действительности. В период съемки наблюдательная сеть может быть разреженной, а часть наблюдательных скважин временной. Размещение наблюдательной сети должно обеспечивать выявление как региональных закономерностей естественного режима подземных вод в различных геоморфологических и гидрологических условиях, так и локальных (в зоне каналов, орошаемых массивов, дрена, солончаков, болот и т. п.) с учетом выявления различных ирригационно-хозяйственных факторов.

Наблюдательная сеть организуется следующих трех видов:

- 1) опорная региональная сеть (находится в ведении гидрогеоло-

гических станций), 2) внутрихозяйственная наблюдательная сеть управлений оросительных и обводнительных систем; 3) временная наблюдательная сеть различных ведомств. В табл. 5 (по Д. М. Кацу) приведен перечень задач, решаемых на основе изучения режима подземных вод орошаемых и обводняемых районов с использованием указанных видов наблюдательных сетей, а также изложены основные принципы размещения наблюдательной сети.

В состав работ по изучению режима подземных вод в общем случае входят: наблюдения за сезонными, годовыми и многолетними изменениями уровня, температуры и химического состава подземных вод; наблюдения за дебитом фонтанирующих скважин, родников, кяризов и высачивающихся подземных вод; изучение элементов баланса подземных вод (инфильтрации атмосферных осадков, речных вод, фильтрационных вод каналов, оросительных вод, подземного притока и оттока, расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию, выклинивания их в естественные и искусственные дренажи и др.) и элементов солевого баланса грунтовых вод.

Для осуществления режимных наблюдений в сеть включаются следующие виды наблюдательных пунктов: 1) одиночные скважины, вскрывающие изучаемые водоносные горизонты, 2) «кусты» наблюдательных скважин (с этажным расположением фильтров) для наблюдений за изменениями напоров и химического состава подземных вод на заданных глубинах, а также для изучения взаимосвязи водоносных горизонтов, 3) водомерные посты на типичных родниках, оросительных и дренажных каналах, реках, водохранилищах и других объектах.

Элементы баланса грунтовых вод, а также солевого их баланса при экспериментальном методе исследований изучаются на специально выбранных участках, типичных по гидрогеологическим условиям (участки — «ключи»). При изучении элементов баланса грунтовых вод путем анализа уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях используются соответствующим образом размещенные одиночные наблюдательные скважины или «кусты» их.

Особенности методики изучения режима подземных вод во многом предопределяются природными условиями исследуемой территории и генетическим типом режима грунтовых вод [7, 9—11].

Региональная сеть гидрогеологических станций, с помощью которых выявляются региональные закономерности режима подземных вод и основные зависимости сезонных, годовых и многолетних изменений элементов режима от природных и ирригационно-хозяйственных факторов, является как бы «реперной» сетью для наблюдений, проводимых по внутрихозяйственной, а также временной сети скважин. Частота замеров уровней подземных вод и других показателей при использовании региональной сети изменяется от 4—5 до 10 раз в месяц.

Таблица 5

Задачи, решаемые на основе изучения режима подземных вод	Принципы размещения наблюдательной сети
<i>Опорная региональная сеть</i> 1. Изучение региональных закономерностей сезонного и многолетнего нарушенного и естественного режима подземных вод на площадях формирования различных генетических типов режима в основных гидрогеологических районах 2. Изучение элементов баланса грунтовых вод и зависимости их от состава пород и мощности зоны аэрации, метеорологических условий и других факторов в основных гидрогеологических районах 3. Фиксация многолетних изменений нарушенного и естественного режима подземных вод 4. Прогноз режима подземных вод	
<i>Временная наблюдательная сеть</i> 1. Размещение сельскохозяйственных культур и обоснование режима их орошения 2. Прогноз режима подземных вод 3. Определение гидрогеологических параметров пластов, необходимых для прогноза режима, проектирования дренажных и водозаборных сооружений 4. Приведение к одному сроку разновременных данных гидрогеологической съемки 5. Расчеты баланса грунтовых вод и солевого баланса 6. Изучение влияния оросительных и обводнительных каналов и дренажа на режим подземных вод	
<i>Внутрихозяйственная наблюдательная сеть</i> 1. Корректирование норм влагозарядковых, вегетационных и промывочных поливов в зависимости от режима грунтовых вод 2. Контроль мелиоративного состояния орошаемых земель, планирование мелиоративных работ и оценка их эффективности 3. Расчеты и наблюдения за динамикой, водного и солевого баланса земель 4. Наблюдения за влиянием оросительных, обводнительных и дренажных каналов, водохранилищ и других сооружений 5. Прогнозы режима грунтовых вод на площади оросительных и обводнительных систем и в хозяйствах 6. Контроль за охраной подземных вод, используемых для орошения и обводнения, от загрязнения и истощения	
Наблюдательная сеть размещается на основе гидрогеологического районирования территории применительно к требованиям орошения и обводнения Размещение наблюдательной сети определяется принятой методикой решения поставленных задач Равномерное покрытие наблюдательной сетью всей территории орошаемых и обводняемых земель (исключая п. 4, когда сеть размещается в соответствии с принятой методикой наблюдений)	

Основные данные о режиме подземных вод, необходимые для гидрогеологического обоснования проектирования и переустройства систем орошения и обводнения, получают в результате наблюдений по временной наблюдательной сети (с широким использованием в качестве наблюдательных пунктов скважин, проходимых в процессе съемочных работ). Дополнительно к данным региональной сети для всей мелиорируемой территории устанавливается характер сезонных и годовых колебаний уровня, минерализации и химического состава грунтовых вод, амплитуды изменений их и зависимости от различных факторов, выясняется взаимодействие грунтовых вод с поверхностными водотоками и водоемами и с нижележащими водоносными горизонтами, определяются расчетные гидрогеологические и другие параметры, необходимые для осуществления прогнозов и обоснования проектируемых мелиоративных мероприятий (режима орошения, условий работы водозаборов, каналов, дренажей и др.).

Наблюдения за режимом подземных вод по внутрихозяйственной гидрогеологической сети управлений оросительных и обводнительных систем проводятся в процессе эксплуатации этих систем и могут использоваться не только для решения задач контроля и эксплуатации при орошении, но и для обоснования проектов переустройства существующих гидромелиоративных систем. Основными объектами наблюдений по внутрихозяйственной сети являются верхние горизонты грунтовых вод, предопределяющие мелиоративное состояние земель и активно участвующие в почвообразовательных процессах. Такие наблюдения в комплексе с региональной наблюдательной сетью дают необходимые данные для анализа режима подземных вод и влияния его на мелиоративное состояние земель и позволяют разрабатывать мероприятия по контролю и регулированию режима подземных вод.

Размещение внутрихозяйственной наблюдательной сети осуществляется на основе топографических карт масштабов 1:5000—1:25 000 с учетом геологического строения и литологических особенностей пород зон аэрации и насыщения, наличия напорных вод и связи их с грунтовыми, глубины залегания и минерализации подземных вод и других факторов. Размещение сети должно обеспечивать характеристику режима грунтовых вод на всех участках поля с различной глубиной залегания и разной минерализацией грунтовых вод. При мало разнящихся глубинах залегания грунтовых вод в пределах поля (не более 0,5 м) и близкой их минерализации (различие не более 1—2 г/л) возможно ограничиться одной-двумя наблюдательными точками в пределах поля севооборота площадью 30—100 га. При более значительных различиях в глубинах залегания и минерализации грунтовых вод количество наблюдательных пунктов увеличивается. При изменении ирригационно-хозяйственной обстановки может возникнуть необходимость заложения дополнительных постоянных или временных наблюдательных пунктов.

Наблюдения по пунктам внутрихозяйственной сети целесообразно проводить ежедекадно с увеличением частоты наблюдений в периоды более интенсивного изменения уровней подземных и поверхностных вод и в местах влияния каналов, дрена и поверхностных водотоков.

Изучение общего водного баланса и баланса грунтовых вод, необходимое для прогнозов режима грунтовых вод, обоснования проектов дренажа и других мелиоративных мероприятий и оценки их эффективности, осуществляется как в процессе проектирования систем орошения, так и при их эксплуатации. На массивах проектируемого орошения изучение элементов баланса грунтовых вод начинается одновременно с организацией режимных опорных наблюдательных пунктов и является обязательным элементом изучения региональных закономерностей режима подземных вод (см. гл. V, § 3).

В задачи балансовых работ входят изучение элементов баланса грунтовых вод и зависимости инфильтрационного питания и расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от состава пород зоны аэрации и глубины залегания грунтовых вод в наиболее представительных по гидрогеологическим условиям районах, изучение изменчивости элементов баланса грунтовых вод во времени в зависимости от изменений климатических и гидрологических факторов и т. д. Результаты балансовых работ используются для составления водного баланса и баланса грунтовых вод районов, выделяемых на картах гидрогеолого-мелиоративного районирования при обосновании схемы орошения (стадия ТЭО) и проекта. Для балансовых расчетов на стадии ТЭО используются карты глубин залегания грунтовых вод, литологические, гидродинамические, гидрогеолого-мелиоративного районирования и другие масштабов 1 : 500 000, 1 : 200 000 и 1 : 100 000, а на стадии рабочего проекта — соответствующие карты масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000.

Солевой баланс изучается в комплексе с водным. При этом, как и баланс влаги, целесообразно определять солевой баланс общий, почв и пород зоны аэрации и подземных вод. Общие принципы организации и проведения водно-балансовых работ на разных стадиях проектирования орошения и при эксплуатации оросительных систем применимы и при изучении солевого баланса (см. гл. V, § 3) [4, 7—10].

При изучении солевого баланса определяется общее содержание солей, хлоридов, а также токсичных солей (NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , MgCl_2 и др.). При этом учитывается поступление и вынос солей в пределах балансового участка под действием основных факторов солевого режима (полив, осадки, приток, отток, импัลверизация, удобрения, дренаж и др.).

Уравнения солевого баланса (общего, зоны аэрации и грунтовых вод) составляются на основе изучения и оценки элементов водного баланса и в целом аналогичны соответствующим воднобалансовым уравнениям (см. гл. V). Для их составления используются

результаты изучения солевого состава пород зоны аэрации, минерализации атмосферных, поливных, дренажных и грунтовых вод и т. д. При этом исследования ведутся на ключевых участках и в пределах всего изучаемого массива или района (точки наблюдений за солевым составом пород и подземных вод обычно совмещаются с пунктами наблюдений за режимом уровня грунтовых вод). Минерализация оросительных и дренажных вод определяется 1—3 раза в месяц, грунтовых — ежеквартально и реже (с интервалом опробования по глубине от 2 до 10 м). Засоление пород зоны аэрации изучается до и после промывок и орошения с интервалом по глубине от 0,1—0,2 до 0,25—0,5 м.

Расчеты солевого баланса выполняются за вегетационный и невегетационный периоды и дополнительно могут проводиться за период проведения промывных поливов и вегетационных.

Результаты расчетов солевого баланса анализируются с полным учетом взаимосвязи общего солевого баланса, баланса солей в зоне аэрации и подземных водах, с соответствующими балансами воды.

§ 3. Гидрогеологические исследования в связи с использованием подземных вод для орошения

Основным источником орошения в нашей стране являются в настоящее время поверхностные воды. За счет использования подземных вод орошается не более 3% всех орошаемых земель. В небольшом количестве используются для орошения бытовые и промышленные сточные воды, дренажные воды и др. (2, 3, 4). Существующее соотношение между различными источниками воды для орошения не отвечает полностью условиям рационального и комплексного использования водных ресурсов СССР, тем более что в отдельных районах страны, весьма перспективных для развития орошаемого земледелия, темпы мелиоративного освоения земель сдерживаются из-за отсутствия (либо недостаточности) поверхностных источников орошения и слабого использования подземных вод, местного стока и сточных вод.

В грандиозной системе мероприятий по увеличению и улучшению водообеспеченности систем орошения (территориальное перераспределение и регулирование поверхностного стока, совершенствование оросительных систем и технологии орошения, оптимизация режима орошения, повышение коэффициента полезного действия мелиоративных систем и т. д.) существенное значение приобретает рациональное использование для орошения подземных вод (включая мероприятия по их охране, искусственному пополнению и регулированию). При этом имеется в виду, что использование для орошения подземных вод допустимо лишь при условии первоочередного обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения, в районах отсутствия или дефицита поверхностных вод и достаточных ресурсов подземных вод. Затраты на строительство и эксплуатацию

систем орошения с подземными источниками питания оказываются эквивалентными затратам для систем с поверхностными источниками орошения, а нередко и менее значительными (особенно когда водозаборные скважины выполняют и роль дренажных сооружений — вертикальный дренаж).

Благоприятные для вертикального дренажа условия имеют место в районах, где грунтовые воды получают глубинное питание, и на массивах с незначительной глубиной залегания грунтовых вод, но достаточно большой их мощностью и литологическими особенностями, способствующими сооружению эффективных водозаборно-дренажных скважин. Для определения перспектив использования подземных вод для целей орошения большое значение имеет районирование территории СССР по условиям применения вертикального дренажа [9].

В районах, где подземные воды являются единственным или конкурирующим с поверхностными водами источником орошения, а также в условиях напряженного водного баланса, большой потребности в подземных водах и сложной гидрогеологической обстановки, гидрогеологические исследования подземных вод как возможных источников орошения осуществляются самостоятельно с соблюдением стадийности их проведения, установленной для поисков и разведки месторождений подземных вод (см. гл. IX). Выполняемые при этом гидрогеологические исследования должны обеспечить надежную основу для оценки подземных вод как источника для целей орошения в качественном и количественном отношении и получение расчетных параметров и других данных, необходимых для осуществления прогнозов условий работы водозаборных и дренажных сооружений и изменения качества воды в процессе их эксплуатации. При этом общие принципы и методика проведения гидрогеологических исследований остаются аналогичными изложенным ранее на примере изучения подземных вод как источников водоснабжения. Оценка качества воды и прогноз условий работы водозаборных сооружений осуществляются с учетом требований, предъявляемых к качеству оросительных вод, специфики и режима работы систем орошения.

Оценка качества воды для целей орошения. При оценке качества воды для орошения учитываются требования, предъявляемые к ее химическому составу, общей минерализации, температуре и агрессивным свойствам. Единых узаконенных требований, определяющих пригодность подземных вод для орошения, не установлено, однако определенные рекомендации в этом отношении имеются (например, ГОСТ 25900—83 «Вода для орошения юга Украины»).

Вода из источника орошения должна быть физиологически доступна для растений и не вызывать засоления и осолонцевания почв. В ней не должно содержаться примесей или веществ, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на условия произрастания растений или отрицательно воздействовать на плодородие

почв и их структуру. Температура воды должна быть близкой к температуре орошаемых почв (нередко поэтому подземные воды, имеющие пониженную температуру, приходится некоторое время выдерживать в водосборниках или бассейнах до приобретения ими необходимой температуры).

Обычно качество воды оценивают по ее общей минерализации, составу растворенных солей и их соотношению, а также по величине ирригационного коэффициента и другим эмпирическим показателям.

Общее содержание солей в воде, пригодной для орошения, не должно превышать 1—1,5 г/л. При большей минерализации приобретает значение состав солей и их соотношение. Наиболее вредными являются соли натрия. Предельно допустимое их содержание составляет: Na_2CO_3 — 1 г/л, NaCl — 2 г/л и Na_2SO_4 — 5 г/л. Минерализация воды в 5 г/л условно считается предельной. Однако опыт орошения в СССР и за рубежом свидетельствует о том, что при хорошей дренированности земельных массивов для орошения можно использовать воды с минерализацией 5—7 г/л и даже больше.

Для ориентировочной оценки качества подземных вод по данным химических анализов пользуются величиной ирригационного коэффициента $K_{\text{ир}}$, зависящего от щелочности воды и вычисляемого по эмпирическим формулам [4]. Пригодной для орошения считается вода с ирригационным коэффициентом более 1,2.

Опасность осоложнения почвы в результате поглощения ею катионов натрия (Na^+) из оросительной воды возникает при эквивалентном отношении $\frac{[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]}{[\text{Na}^+]} < 0,23M$, где M — минерализация

воды в г/л (по И. Н. Антипову-Каратаеву). В условиях, когда получаемые при эксплуатации водозаборно-дренажных сооружений подземные воды предполагается использовать не только для орошения, но и для водоснабжения, их качество должно отвечать требованиям ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».

Для оценки возможного агрессивного воздействия подземных вод на бетонные и металлические сооружения оросительных систем определяют различные виды их агрессивности (общекислотную, сульфатную, углекислую, магниальную, выщелачивания), величину pH, газовый состав вод, наличие органики и т. д.

Особенности проведения гидрогеологических исследований. Как уже отмечалось, исследования подземных вод, предполагаемых к использованию при орошении, осуществляются в рамках стадийности, установленной для обоснования проектов мелиоративного строительства или для геолого-промышленной оценки месторождений подземных вод применительно к задачам водоснабжения. Выполняемые исследования должны обеспечить общую оценку водных ресурсов района, возможности и целесообразности использования для орошения подземных вод, оценку их эксплуата-

ционных запасов применительно к условиям орошения конкретных массивов, все необходимые прогнозы условий работы водозаборных сооружений. При выполнении водозаборными сооружениями функций дренажа орошаемых земель должно быть обеспечено получение исходной информации, необходимой для обоснования проектирования и прогноза условий работы дренажных сооружений, а размещение этих сооружений должно обосновываться с учетом выполнения ими функций водозабора и дренажа. При этом уровни грунтовых вод в пределах массива орошения должны быть снижены при работе водозаборных сооружений до глубин, исключающих развитие процессов вторичного засоления почвы за счет испарения грунтовых вод. В частности, для обоснования и прогноза условий работы вертикального дренажа в результате гидрогеологических исследований должны быть изучены геолого-литологический разрез и фильтрационные свойства покровных и водоносных отложений до регионального водоупора (на глубину не менее 70—100 м) и в обязательном порядке получена количественная характеристика гидравлической взаимосвязи грунтовых вод с нижележащими водами напорных горизонтов. Важнейшим параметром, характеризующим эту взаимосвязь и эффективность работы водозаборно-дренажных сооружений, является скорость снижения уровня грунтовых вод при откачке из нижележащих водоносных горизонтов.

Взаимосвязь грунтовых и напорных вод должна быть изучена также с учетом возможных изменений качества воды при эксплуатации водозаборных и дренажных сооружений системы орошения.

Оценку эксплуатационных запасов подземных вод следует осуществлять применительно к установленной потребности в воде для целей орошения с учетом расходования воды на влагозарядковые, освежительные, промывные, отоплительные и другие виды поливов в вегетационный и невегетационный периоды года. При этом подсчет эксплуатационных запасов выполняется в двух вариантах: при непрерывном равномерном и заданном неравномерном режимах водопотребления (при одинаковом суммарном годовом водоотборе).

Количество скважин и их размещение планируют с учетом реального графика отбора подземных вод.

В условиях резкой неравномерности и периодичности отбора подземных вод расчеты по оценке их эксплуатационных запасов могут осуществляться с учетом восполнения отбираемого в вегетационный период количества воды в последующее время года. В качестве расчетного периода эксплуатации подземных вод принимается продолжительность вегетационного периода (обычно 3—6 месяцев), а их восполнение в невегетационный период доказывается на основе сопоставления отобранного количества воды с величиной питания за период отсутствия водоотбора. Таким образом может учитываться восполнение эксплуатационных запасов

как за счет естественного, так и за счет искусственного питания подземных вод.

Экономическая эффективность использования подземных вод для орошения устанавливается на основе сопоставления технико-экономических показателей по вариантам осуществления орошения с подземными и поверхностными источниками питания по методике, изложенной в работе Д. Т. Зузика [5], а также в гл. IX.

ГЛАВА XIII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ОСУШЕНИЕМ ЗЕМЕЛЬ

Осушительные мелиорации, как известно, осуществляются в основном в зонах избыточного и достаточного увлажнения и имеют своей целью регулирование водного и воздушного режимов в целях обеспечения благоприятных условий для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Эффективность осушения иллюстрируется, например, тем фактом, что урожайность зерновых культур на осушенных землях Прибалтики, считавшихся ранее неплодородными, за последние 15 лет возросла в 2—3 раза. Капиталовложения на осушительные мелиорации окупаются в сроки от 2 до 6 лет [5].

Осушительные мелиорации в нашей стране имеют широкие перспективы развития (общая площадь болот и заболоченных земель составляет около 200 млн. га, не считая тундры). Основными районами страны, где в ближайшее время и в перспективе будет проводиться осушение земель, являются Нечерноземная зона РСФСР, Прибалтика, Полесье, Сибирь, Дальний Восток, Урал [5]. Характерная особенность современного развития мелиораций — их комплексное планирование и осуществление.

На современном этапе недопустимо рассматривать орошение как односторонний процесс подачи воды на поля, а осушение как односторонний процесс отвода излишней воды. Мелиоративные мероприятия должны проектироваться комплексно, с учетом рационального и многократного использования водных ресурсов и управления факторами внешней среды таким образом, чтобы сооружаемые мелиоративные системы обеспечивали наиболее благоприятный режим для развития сельскохозяйственных растений и оптимальные условия для интенсификации сельскохозяйственного производства, повышения его общественной и экономической эффективности. В обеспечении такого научно обоснованного проектирования большая роль отводится гидрогеологическим исследованиям, осуществляемым для обоснования планирования, проектирования и условий эксплуатации оросительных и осушительных систем.

§ 1. Задачи и стадийность гидрогеологических исследований для целей осушения

Изложенные в предыдущей главе основные положения по проведению гидрогеологических исследований для обоснования планирования, проектирования и прогноза условий эксплуатации оросительных систем являются общими для всех видов мелиоративного строительства, в том числе и для осушения (см. гл. XII, § 1). Выполняемые гидрогеологические исследования должны обеспечить получение всех материалов, необходимых для обоснованной мелиоративной оценки рассматриваемой территории и перспективного планирования осушительных, оросительных и других видов мелиораций, выбора объектов для первоочередного мелиоративного освоения, всестороннего гидрогеологического обоснования проектирования систем осушения и осуществления мероприятий по обеспечению наиболее благоприятного режима осушения в пределах всей осушаемой территории, разработки и обоснования прогнозов, связанных с проектированием системы осушения и ее дальнейшим функционированием. Как и для целей орошения, исследования выполняются в предпроектный период (региональные исследования), для обоснования проектирования систем осушения и в период их строительства и эксплуатации.

В предпроектный период проводятся камеральные работы с обобщением всех собранных по региону геолого-гидрогеологических материалов для предварительной оценки изучаемой территории и составления программы ее мелиоративного освоения с представлением обзорных схематических карт гидрогеолого-мелиоративного районирования территории в границах рассматриваемых регионов. Для технико-экономического обоснования целесообразности проведения осушительных мелиораций и выбора объектов первоочередного освоения (этап ТЭО) выполняется комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка рассматриваемой территории. Исследования помимо общего гидрогеологического изучения территории должны выявить гидрогеологические и инженерно-геологические условия переувлажненных земель, особенности и типы их водного питания. В районах развития многолетнемерзлых пород изучаются геокриологические условия. В достаточной мере должны быть охарактеризованы условия для выбора трасс осушительных каналов, коллекторов, регулируемых рек — водоприемников и других сооружений осушительных систем (шлюзов, насосных станций и т. п.).

На основе обобщения фондовых данных и материалов выполненных исследований осуществляется гидрогеологическое и инженерно-геологическое районирование территории в масштабах 1 : 500 000—1 : 200 000. По ландшафтно-климатическим, геологоструктурным, морфогенетическим, гидрогеологическим (дренированность, взаимосвязь грунтовых и напорных вод, глубина залегания, режим увлажнения), инженерно-геологическим, литологиче-

ским и другим условиям выделяются провинции, подпровинции, области, подобласти, районы, подрайоны и участки [4, 7—9]. Районирование — основа для оценки технико-экономических условий и очередности осушения земель.

Исследования для обоснования проектирования систем осушения проводятся в одну (рабочий проект) или две стадии (проект и рабочая документация). Проектирование в одну стадию выполняется для осушения массивов небольшой площади (менее 500 га).

Исследования для обоснования проектирования осушения на стадии проекта осуществляются в пределах территорий первоочередного мелиоративного освоения. В результате этих исследований должны быть изучены и детально охарактеризованы гидрогеологические и инженерно-геологические условия переувлажненных земель; уточнены условия и типы их водного питания; получены значения всех расчетных гидрогеологических и гидрохимических параметров, необходимые для проектирования всех узлов системы осушения и прогнозов условий их работы; установлены условия строительства и эксплуатации системы осушения. Исследования обычно заключаются в проведении специализированной комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 50 000 (реже крупнее), буровых и опытно-фильтрационных работ, стационарных исследований по изучению режима и баланса подземных вод, лабораторных и геофизических работ, камеральной обработки материалов (см. гл. II—VIII и XII).

По результатам исследований составляется комплекс крупномасштабных (1 : 50 000—1 : 10 000) карт гидрогеологического и инженерно-геологического районирования переувлажненных земель, служащих основой для определения состава и способов осушительных мелиораций. Дается прогноз изменения режима подземных вод на осушаемых землях и прилегающих к ним территориях (на которых вследствие осушения земель могут измениться запасы подземных вод и условия их использования для водоснабжения и других целей). При необходимости прогнозируются изменения водно-солевого баланса грунтовых вод и оседания поверхности торфяников в связи с осушением. Всесторонне обосновываются способы двойного регулирования водного режима осушаемых почв — осушение в периоды избыточного увлажнения и дополнительное их увлажнение в периоды недостатка влаги. Проводятся расчеты осушительных дренажей и прогнозы условий их работы; выявляются инженерно-геологические условия строительства различных узлов системы осушения, уточняются запасы строительных материалов и т. п.

На стадии рабочей документации гидрогеологические и другие виды исследований выполняются для уточнения отдельных вопросов геологического строения, а также гидрогеологических и инженерно-геологических условий размещения и строительства тех или иных узлов системы осушения, для дополнительного обоснования отдельных проектных решений и инженерных прогнозов [9].

Задачи гидрогеологических исследований в период строительства и эксплуатации систем осушения аналогичны задачам исследований при строительстве и эксплуатации оросительных систем (см. гл. XII, § 1). Исследования проводятся в связи с необходимостью уточнения гидрогеологических и инженерно-геологических условий массива осушения и инженерных прогнозов, обосновывающих проектирование и режим осушения, внесения соответствующих корректив в проекты отдельных сооружений и прогнозы условий их работы, обоснования наиболее рациональных режимов эксплуатации отдельных узлов и системы осушения в целом и решения других задач. Состав исследований аналогичен исследованиям, осуществляемым в период строительства и эксплуатации систем орошения (см. гл. XII, § 1), и обычно включает документацию в период строительства системы осушения и бурения скважин режимной сети, опытно-экспериментальные работы, стационарные наблюдения за режимом и балансом подземных вод, контроль за эффективностью работы дренажных сооружений и мелиоративным состоянием осушаемых земель.

Специфика гидрогеологических исследований для целей осушения земель детально рассматривается в специальной литературе [4, 6—9] и коротко охарактеризована ниже.

§ 2. Особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей осушения

Требования к гидрогеологическим исследованиям для целей осушения. К гидрогеологическим исследованиям для осушения и получаемой в результате их проведения исходной информации предъявляются требования, идентичные рассмотренным в предыдущей главе. Здесь лишь следует отметить, что в процессе проведения съемочных и других работ на массивах предполагаемого осушения особое внимание уделяется установлению основных источников водного питания избыточно увлажненных земель, типов болот по условиям их водного питания, их площадей распространения, выявлению фильтрационных свойств избыточно увлажненных почв, торфяников и имеющих с ними взаимосвязь водоносных горизонтов, а также получение достоверных значений параметров, необходимых для проектирования дренажных сооружений и других элементов системы осушения (с вероятностью не менее 0,7—0,8).

По результатам съемочных работ масштаба 1:50 000 в обязательном порядке составляется специализированная карта типов водного питания болот и заболоченных земель, которая может быть совмещена с ландшафтно-индикационной картой. На картах должны быть выделены следующие основные типы водного питания болот и заболоченных земель: атмосферный, склоновый, грунтовый, грунтово-напорный и смешанный.

Закономерности режима подземных вод и элементы водного и солевого баланса в пределах массива осушения и прилегающих

территорий должны быть установлены с полнотой, необходимой для составления баланса и прогноза режима осушения в условиях мелиоративного освоения земель в соответствии с методикой, изложенной в руководстве [9].

Типы гидрогеологических условий осушаемых земель. Типизация гидрогеологических условий переувлажненных территорий, осуществляемая на основе общности их геолого-литологического строения, геоморфологической приуроченности, характера подземных вод и их роли в водно-минеральном питании переувлажненных земель, способствует обобщенному определению состава и методики гидрогеологических исследований и необходимых для освоения земель мелиоративных мероприятий и способов их осуществления [8, 9].

По характеру геологического строения и литологическим особенностям покровных отложений (в слое толщиной до 2—3 м) выделяются пять типовых схем разреза переувлажненных земель (рис. 47):

I. Однородные породы (суглинки, торфяники, пески, глины и т. д.).

II. Двухслойный разрез с менее проницаемым нижним слоем.

III. Двухслойный разрез с более проницаемым нижним слоем.

IV. Однородные породы малой мощности (менее 1—1,5 м), подстилаемые скальными породами.

V. Многослойный разрез.

Типовые схемы геологического строения разреза переувлажненных земель определяют условия распространения и питания грунтовых вод, рациональные схемы осушения и методы их расчета.

По степени участия подземных вод в водном питании переувлажненных земель выделенные схемы могут быть объединены в три группы: 1) подземные воды не участвуют в водном питании земель (рис. 47, схема Ia, IIa); 2) в водном питании принимают участие только грунтовые воды, формирующиеся в пределах переувлажненных массивов и на ближайшей их периферии (рис. 47, схемы Ib, Ic, IIb, IIc, IIIc); 3) в водном питании земель принимают уча-

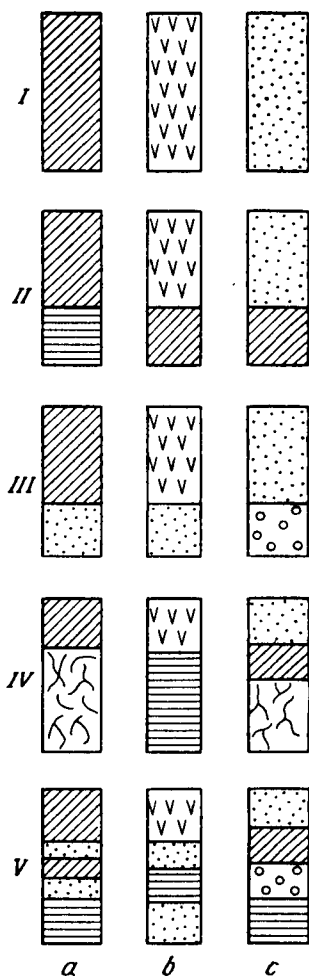


Рис. 47. Основные типовые схемы (I—V) геологического строения осушаемых земель

стие напорные воды и водоносные горизонты дочетвертичных пород, формирующиеся вне пределов увлажненных массивов (в основном все остальные схемы).

Показателем степени участия напорных вод в водном питании избыточно увлажненных земель может служить соотношение уровней грунтовых вод и пьезометрических уровней нижележащих напорных вод. Возможны три схемы их соотношения (взаимосвязи): 1) пьезометрические уровни постоянно залегают выше уровней грунтовых вод; 2) уровни совпадают и 3) уровни грунтовых вод расположены выше пьезометрической поверхности нижележащего напорного горизонта. В первом случае осушаемые породы подпитываются снизу напорными водами, во втором — наблюдается неустойчивое равновесие, нарушающееся под влиянием естественных или искусственных факторов (при дренаже схема становится адекватной первой схеме), а в третьем — грунтовые воды не получают напорного питания. Во всех отмеченных схемах связь напорных вод с грунтовыми может иметь площадный характер или локальный — через гидрогеологические окна (древняя гидрографическая сеть, тектонические нарушения, карстовые воронки и т. п.).

В зависимости от геологического строения, обводненности покровных отложений и степени участия напорных вод в их обводнении гидрогеологические и инженерно-геологические условия районов осушения подразделяются на три категории — простые, средней сложности и сложные, характеристика которых приведена в табл. 6.

Таблица 6

Оценка сложности природных условий	Геоморфологические особенности	Основные схемы геологического строения	Типы подземных вод	Основные методы расчета и прогноза режима грунтовых вод
Простые	Заболоченные земли и болота на водоразделах и склонах озерных, флювиогляциальных равнин	Однородные породы	Верховодка	Формулы теории фильтрации для однородных пород
Средней сложности	Конечно-моренный ландшафт, конуса выноса, понижения на флювиогляциальных, моренных равнинах и т. д.	Двухслойные породы	Грунтовые воды	Формулы теории фильтрации для слоистых пород
Сложные	Поймы и дельты рек, конечно-моренный ландшафт, предглинтовые приморские низменности, болота в глубоких депрессиях, в древних ложбинах стока	Многослойные породы	Грунтовые и напорные воды	Моделирование

С учетом всего изложенного гидрогеологические условия переувлажненных земель могут быть сведены к шестнадцати основным типам (рис. 48) и детально охарактеризованным в руководстве [9].

Степень участия подземных вод в водном питании переувлажненных земель возрастает от первого типа к последнему: в 1—5-м типах в переувлажнении земель принимает участие преимущественно верховодка, в 6—11-м типах — притекающие со стороны грунтовые воды, в 12—16-м и 7-м типах — напорные воды. Режим грунтовых вод в последних типах (схемы 7, 12—16, рис. 48) зависит от положения пьезометрической поверхности напорных вод и меньше подвержен влиянию метеорологических факторов.

Особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей осушения. Специфика проведения гидрогеологических исследований применительно к выделенным типам осушаемых земель (рис. 48) заключается в следующем [4, 6—9].

В условиях 1—5-го типов исследования проводятся только в пределах переувлажненных земель. При отсутствии грунтовых вод (типы 1, 2, 3, 4) гидрогеологические изыскания проводятся одновременно с почвенной съемкой. Глубина выработок (скважин, шурфов) ограничивается 1,5—3 м. С особой тщательностью описываются почвенный покров и наиболее проницаемые горизонты. Переувлажненные старопахотные земли тяжелого механического состава чаще относятся ко второму типу, так как коэффициент фильтрации пахотного слоя превышает 0,2—0,5 м/сут.

Наиболее сложные условия свойственны 7-му типу, характеризующемуся наличием напорных вод и капиллярным переувлажнением покровных пород тяжелого механического состава. Чтобы

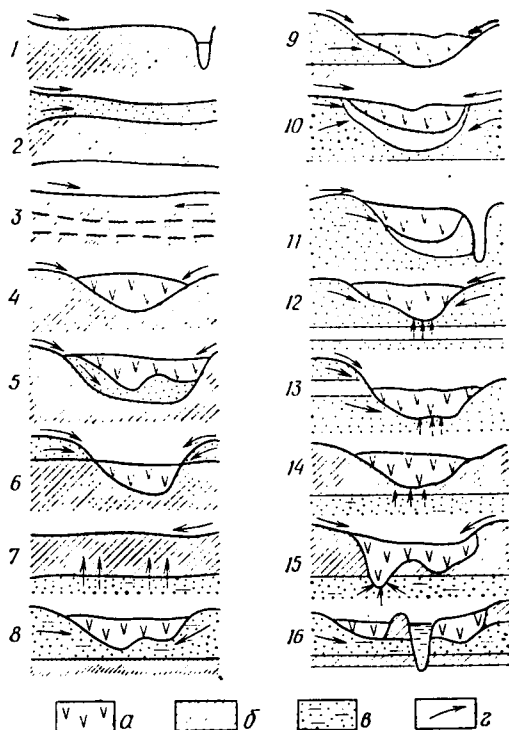


Рис. 48. Типы (1—16) гидрогеологических условий осушаемых земель:

а — торф, б — суглинок (глина), в — песок (супесь, гравий), трещиноватые скальные породы, г — направление движения поверхностных и подземных вод

отнести земли к этому типу, необходимо располагать материалами по глубине залегания уровней грунтовых вод. Для этого закладывается на основных геоморфологических элементах сеть разведочных скважин глубиной несколько превышающей высоту капиллярного поднятия, т. е. больше 3—4 м. Наблюдательная сеть, состоящая из наблюдательных скважин, с этажным расположением фильтров применяется только для условий 6-го и 7-го типов. В типе 3 объектом изучения являются надмерзлотные воды, особое внимание уделяется исследованию анизотропии и температурному режиму почв и пород. В условиях 4, 5, 8-го и последующих типов проводится зондировка торфа, изучается изменение водопроницаемости с глубиной торфа. При 5-м типе условий с большей детальностью изучается приболотная зона, опытными работами охватывается как торфяная залежь, так и подстилающие проницаемые отложения. В условиях 6-го, 8-го и последующих типов (за исключением 14-го и 15-го) скважины закладываются не только в пределах болот, но и на прилегающих склонах для оценки величины бокового притока (оттока) грунтовых вод. Минимальное количество скважин за границами болот в пределах одного створа 2—3, створы размещаются вдоль потока грунтовых вод. При 9-м типе условий скважины проходятся только на склоне, сложенном проницаемыми породами.

При 10-м типе с особой тщательностью исследуется зона нулевых залежей торфа. В условиях 11-го типа, в отличие от 4-го типа, исследуется связь грунтовых вод с горизонтами воды в гидрографической сети (реке, озере и т. д.) с помощью скважин в береговой зоне и водомерных постов простейшего типа. При 12-м типе для оценки роли водоносных горизонтов в водно-минеральном питании болот необходимо охарактеризовать площадную взаимосвязь болотных и напорных вод. Для этого закладываются кусты скважин или оборудуются этажные пьезометры. Изучаются параметры, характеризующие напорные водоносные горизонты, пьезопроводность, упругая водоотдача и др. На склонах задается та же сеть скважин, что и при других типах гидрогеологических условий (при наличии проницаемого ложа болот). При 13-м и 14-м типах в пределах болота организуется та же сеть скважин, что и при 12-м типе (в основном кусты скважин). За пределами болот при 14-м типе сеть скважин оборудуется только на напорные воды. Изучаются те же параметры, что и при 12-м типе.

В условиях 15-го типа на основе учета отметок напорного уровня и данных геоботанических и геохимических исследований оконтуриваются очаги разгрузки напорных вод. Остальные изыскания те же, что и при 14-м типе. Последний, 16-й тип условий характеризуется питанием грунтовых вод не только за счет бокового притока со стороны водораздела, но и подпитывания со стороны озер, дренирующих воды напорных горизонтов, насыщающих породы дочетвертичного возраста. Составным элементом исследований в последнем типе является оценка величины перетекания;

для изучения этого процесса закладываются скважины на дне озера и в береговой зоне, а также оборудуются водомерные посты.

Общие особенности гидрогеологических исследований для целей оросительной мелиорации, в равной мере справедливые и для целей осушения, рассмотрены в предыдущей главе (см. гл. XII, § 2), а также детально освещены в специальных методических руководствах [4, 7—9].

Ниже кратко изложены основные особенности методики проведения съемочных работ и стационарных наблюдений на массивах избыточно увлажненных земель.

Особенностью проведения съемочных работ в труднодоступных заболоченных районах является широкое использование аэрометодов, ландшафтно-индикационных и других косвенных методов исследований, значительно сокращающих сроки и стоимость съемки (особенно масштаба 1:200 000). Для обеспечения необходимой степени достоверности информация, получаемая косвенными методами, должна проверяться и дополняться прямыми наземными методами — опорными маршрутами и исследованиями на ключевых участках.

Получаемая на ключевых участках информация и устанавливаемые на ее основе ландшафтно-индикационные зависимости, дешифровочные признаки и индикаторы гидрогеологических условий являются основанием для дешифрирования результатов косвенных исследований и экстраполяции информации ключевых участков на всю площадь типового района. Размеры ключевых участков, их количество и положение зависят от однородности ландшафта, сложности геолого-гидрогеологических условий, масштаба съемки и других факторов. При масштабе съемки 1:200 000 ключевые участки следует располагать вкрест речных долин на всех основных геоморфологических поверхностях. Размеры площадей ключевых участков зависят от сложности природных условий. В сложных условиях рекомендуется принимать один ключевой участок на 300—400 км² съемки [9].

Наземные исследования на ключевых участках выполняются с большой полнотой и детальностью и включают изучение геологического строения, гидрогеологических и геокриологических условий, физико-механических, водно-физических и фильтрационных свойств пород зоны аэрации и основных водоносных горизонтов, физико-геологических процессов и явлений, выявление корреляционных связей между отдельными компонентами гидрогеологических и инженерно-геологических условий и внешними компонентами ландшафта (рельефом, растительностью, гидрографией и др.).

Для получения комплексной информации исследования на ключевых участках ведутся по разведочным опорным поперечникам, пересекающим все элементы рельефа. Здесь наряду с наземным маршрутным дешифрированием выполняются буровые, геофизические и геокриологические исследования. Буровые работы

сопровождаются опытными гидрогеологическими и термометрическими исследованиями и опробованием, включая опытно-фильтрационные работы и радиоактивный каротаж. На каждом из ключевых участков в зависимости от геолого-гидрогеологических особенностей закладывается 5 и более скважин глубиной 10—25 м. Некоторые из них бурят до 150—300 м (при необходимости изучения глубоких горизонтов). Геокриологические термометрические, инженерно-геологические наблюдения проводятся в соответствии с установленной методикой [2, 6—9].

В результате дешифрирования аэрофотоматериалов выделяются и оконтуриваются крупные болотные массивы, проводится их типизация по ландшафтным признакам, намечаются наземные исследования наиболее распространенных типов болот и систем болотных массивов. После наземного изучения ключевых участков и типовых болот результаты наземных, аэровизуальных и других исследований экстраполируются на всю изучаемую площадь. Детально методика съемочных работ заболоченных территорий для целей осушения изложена в методических руководствах [6—9].

Задачи изучения режима и баланса подземных вод детально рассмотрены ранее (см. гл. V, § 1). Следует лишь отметить, что на заболоченных массивах стационарные исследования способствуют выявлению роли подземных вод в водном питании болот и формировании режима влажности почвенного слоя, что крайне важно для обоснования осушительных мелиораций.

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляются по региональной наблюдательной сети (изучение естественного режима и влияния мелиораций в региональном плане), по специальной гидромелиоративной (изучение нарушенного режима подземных вод в пределах массива осушения и прилегающих территорий) и по специальной гидрогеологической сети, имеющей временный характер (определение гидрогеологических параметров по данным стационарных наблюдений). Минимальная продолжительность периода наблюдений при региональном изучении режима подземных вод 3 года, при изучении влияния мелиораций на прилегающие территории 5—12 лет, при сельскохозяйственном использовании земель (контроль режима) постоянна, при оценке эффективности осушения как минимум до стабилизации потоков грунтовых вод [4, 9].

В качестве объектов для режимных наблюдений выбираются наиболее типичные в геолого-гидрогеологическом отношении районы и участки, обеспечивающие возможность экстраполяции результатов изучения по методу аналогии на другие территории. Принципы выбора объектов наблюдений и размещения пунктов региональной и специальной гидромелиоративной сети изложены в руководствах [4, 7—9], а также в гл. V, § 2, где отмечено, что пункты наблюдательных сетей размещаются по результатам гидрогеолого-мелиоративного районирования, характеру предполагаемых для решения задач и граничным условиям объектов наблю-

дений. Например, при региональном изучении режима каждый гидрогеолого-мелиоративный район должен быть охарактеризован как минимум одной скважиной (редко 10 и более скважин) с оборудованнием одного-двух водомерных постов в районах водотоков. На болоте кусты скважин оборудуются как минимум у бортов, в середине болота, вблизи водотока или водоема (рис. 49).

Специальная гидромелиоративная сеть оборудуется в виде створов, расположенных перпендикулярно к регулирующим частям осушительной системы (дренам, каналам, собирателям). Каждый

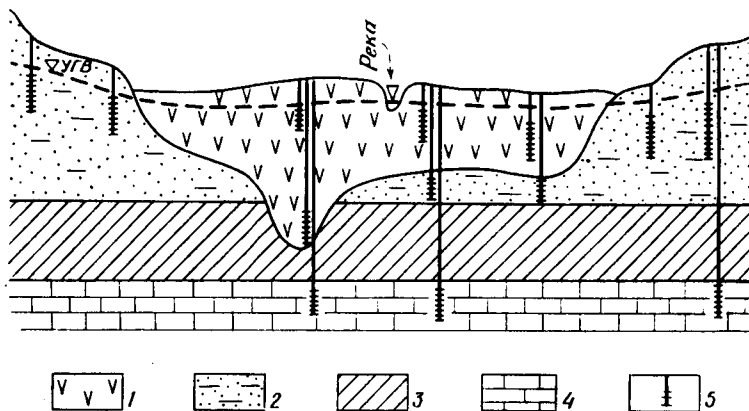


Рис. 49. Пример размещения наблюдательных скважин на болоте:

1 — торф, 2 — песок, 3 — суглинок (глина), 4 — известняк, 5 — скважина

основной вариант регулирующей сети в разных литологических и гидрогеологических условиях должен быть охарактеризован как минимум 3—5 наблюдательными скважинами. Частота замеров уровней и дебитов по пунктам наблюдательной сети один раз в 3—10 дней, гидрогеохимические и термометрические исследования (рН, агрессивность, содержание органики, железа и др.) проводятся 2—3 раза в год.

Водный баланс осушаемых земель изучается экспериментально. Гидродинамический метод используется как вспомогательный для определения разности между притоком и оттоком грунтовых вод. Водный баланс составляется отдельно для грунтовых вод, зоны аэрации, поверхностных вод и общий для всей территории (в естественных условиях можно ограничиться составлением общего водного баланса). Прежде чем начать составление баланса, необходимо определить входящие в балансовые уравнения составляющие.

Уравнение баланса для грунтовых вод (V.1) рассмотрено ранее (см. гл. V, § 3). При составлении баланса влаги в зоне аэрации в качестве приходных его элементов определяются и учитываются инфильтрация осадков в зону аэрации Φ_a , конденсация

влаги K_a , испарение с зеркала грунтовых вод I_r ; в качестве расходных — испарение с поверхности почвы I_a , транспирация T , инфильтрация осадков до уровня грунтовых вод Φ_r . Таким образом, изменение запаса влаги в зоне аэрации (баланс) ΔW_a определяется уравнением

$$\Delta W_a = \Phi_a + K_a + I_r - I_a - T - \Phi_r. \quad (\text{XIII.1})$$

При составлении баланса поверхностных вод соответственно учитываются выпадающие атмосферные осадки, их инфильтрация в зону аэрации, испарение, приток и отток поверхностных вод, конденсация влаги на поверхности и т. п. Общий водный баланс составляется для проверки как алгебраическая сумма рассмотренных выше балансов.

Балансовые исследования проводятся в первую очередь на наиболее перспективных для осушения или уже осушенных массивах. Границы балансовых участков устанавливают по водораздельным линиям, контурам искусственных сооружений (каналов, дрен и др.) и гидрографической сети. Площадь их редко превышает 20—100 га. Водный баланс составляют по гидрологическим годам, а в их пределах для периодов различной протяженности (для весны, осенне-зимнего периода, вегетационного периода и его частей). Обязательное условие достоверности баланса — определение всех его элементов в натуре: приток и отток подземных вод по данным об изменении уровня по скважинам; водообмен грунтовых вод с зоной аэрации — с помощью полевых лизиметров типа ГР-80 и др.; суммарное испарение с поверхности почвы — по методу теплового баланса и с помощью болотных и гидравлических почвенных испарителей; запасы влаги в зоне аэрации и их изменение — массовым, нейтронным и другими методами; дренажный и поверхностный сток — с помощью непосредственных наблюдений на гидрометрических постах и т. д. Детально методика определения отдельных элементов баланса и составления водных балансов осушаемых земель изложена в руководствах [4, 7—9].

§ 3. Экономическая эффективность мелиораций

Вопросы определения экономической эффективности оросительных и осушительных мелиораций разработаны достаточно полно и освещены в учебно-методической литературе [5]. Необходимость в экономической оценке мелиораций возникает при перспективном их планировании, технико-экономическом обосновании целесообразности мелиоративного освоения земель, при выборе объектов первоочередного освоения и сравнительной оценке объектов мелиораций и вариантов их мелиоративного освоения, при технико-экономическом обосновании проектов сооружения новых и переустройства действующих мелиоративных систем и, наконец, при определении экономической эффективности осуществленных мелиоративных мероприятий (орошения, осушения, обводнения).

Эффективность капиталовложений в мелиорации определяется по ожидаемому или получаемому эффекту сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях.

Показатели *общей экономической эффективности*, основанные на сопоставлении затрат (капиталовложений) и вызываемого этими затратами эффекта (прирост дохода или прибыли), используются для определения хозяйственной целесообразности проекта, главным образом при планировании и технико-экономических обоснованиях проектов мелиораций. Они определяются по сельскому хозяйству в целом и его отраслям и подотраслям по СССР, союзным республикам, экономическим районам, зонам, объединениям и, наконец, по отдельным предприятиям, стройкам и объектам. По отдельным предприятиям, стройкам и объектам, отдельным мероприятиям и технико-экономическим проблемам определяются коэффициент общей экономической эффективности $E_{\text{кп}}$ и обратный ему показатель — срок окупаемости капиталовложений по прибыли $T_{\text{кп}}$:

$$E_{\text{кп}} = \frac{(Ц - С)}{K} = \frac{П}{K} \quad \text{и} \quad T_{\text{кп}} = \frac{K}{(Ц - С)} = \frac{K}{П}, \quad (\text{XIII.2})$$

где $Ц$ и $С$ — соответственно стоимость и себестоимость годового объема дополнительной продукции на мелиорируемых землях ($Ц - С = П$ — годовая прибыль); K — сметная стоимость строительства объекта или осуществления мероприятия (капиталовложения).

При определении эффективности орошения или осушения на землях, которые до проведения мелиораций не использовались для сельскохозяйственного производства, в формулах (XIII.2) учитываются соответственно стоимость и себестоимость всей получаемой на мелиорируемых землях продукции. При определении эффективности капиталовложений на реконструкцию мелиоративных систем учитываются затраты на переустройство оросительной и осушительной систем и их сооружений, на противофильтрационные мероприятия, строительство дренажа, регулирование водоприемников, планировку земель и др. Эффективность реконструкции определяется сравнением показателей систем до и после реконструкции.

Действующей инструкцией установлены нормативные значения коэффициентов народнохозяйственной эффективности E_n дифференцированно для хозяйств различной специализации, изменяющиеся в пределах от 0,1 до 0,16 (5).

Сравнительная экономическая эффективность определяется при сопоставлении различных вариантов мелиоративного освоения земель, выборе объектов первоочередного освоения, определения наиболее оптимальных технических и хозяйственных решений и т. д. Обязательное условие сравнения эффективности вариантов — их сопоставимость (однотипность объектов по специализации, по времени осуществления, территориальному размещению

и т. п.). Показателями сравнительной экономической эффективности являются: коэффициент сравнительной экономической эффективности дополнительных капиталовложений $E_{\text{дж}}$, срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{дж}}$ и определяемые на основе нормативных значений этих коэффициентов приведенные затраты Z_n (см. гл. IX, § 3). Методика сопоставления экономической эффективности конкурирующих вариантов аналогична изложенной ранее применительно к решению задач водоснабжения. Наиболее часто сравнительная экономическая эффективность устанавливается на основе определения приведенных затрат: $Z_{n,i} = Z_i + E_n K_i$, которые для экономически наиболее эффективного варианта должны быть минимальными. Показатели Z_i (эксплуатационные затраты, или себестоимость) и K_i (капиталовложения) могут применяться как в полной сумме, так и в виде удельных их значений (на 1 га, на 1 ц продукции, на 1 м³ воды и др.).

Срок окупаемости капиталовложений в оросительные и осушительные мелиорации на действующих системах колеблется от 2 до 6 лет, а по многим передовым хозяйствам — от 2 до 4 лет, свидетельствуя о высокой экономической эффективности орошения и осушения.

ГЛАВА XIV

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ, РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Нефтяная и газовая промышленность занимает ведущее место в экономике нашей страны и мира в целом. Нефть, газ и их продукты используются почти во всех отраслях народного хозяйства: на транспорте и в медицине, в судостроении и сельском хозяйстве, в текстильной, химической и пищевой промышленности, в дорожном строительстве и энергетике и многих других.

В условиях технического прогресса спрос на нефть и газ постоянно возрастает, что ставит перед советской геологической наукой огромной важности задачи в области поисков, разведки и промышленного освоения новых месторождений нефти и газа, осуществления рациональной и эффективной разработки уже освоенных месторождений, дальнейшего совершенствования методов поисково-разведочных работ на нефть и газ, техники и технологии разработки их месторождений.

Успешное решение этих задач невозможно без выполнения соответствующих гидрогеологических исследований и обоснований, которые должны сопутствовать осуществлению геологоразведочных работ на нефть и газ на всех стадиях их проведения, начиная с региональных исследований территорий и оценки перспектив их нефтегазоносности и кончая промышленным освоением и разработкой нефтяных и газовых месторождений.

Важность и эффективность гидрогеологических исследований в решении задач поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений объясняется тем, что нефтяные и газовые залежи теснейшим образом связаны с подземными водами, являются элементами природных водонапорных систем. Процессы образования нефти и газа, скопления этих полезных ископаемых в залежи, разрушения и рассенвания происходят в пористой среде, существеннейшим элементом которой являются подземные воды. Роль последних как фактора, создающего и разрушающего нефтяные и газовые месторождения и определяющего условия их эксплуатации, является ведущей, а во многих геологических структурах и решающей. Это предопределило быстрое развитие самостоятельной отрасли научных знаний — гидрогеологии нефтяных и газовых месторождений и ее подразделений — нефтегазопойсковой и нефтегазопромысловой гидрогеологии.

Задачи нефтегазопойсковой гидрогеологии — изучение гидрогеологических условий территорий и использование гидрогеологических показателей и критериев для оценки перспектив их нефтегазозности и осуществления поисков месторождений и залежей нефти и газа. Нефтегазопромысловая гидрогеология занимается вопросами гидрогеологических исследований в специфических нефтегазопромысловых условиях в целях разведки, проектирования разработки, промышленного освоения и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений [3—7, 10].

Нефть и газ до и после своего существования в виде залежей частично находятся в растворенном состоянии в подземных водах. Формирование залежей нефти и газа связано с определенными гидрогеологическими условиями в структурах (ловушках) и вблизи них, а сами залежи являются элементами водонапорных комплексов и систем, с которыми находятся в гидравлическом единстве, физическом, химическом и механическом взаимодействии. Эти и другие особенности формирования, разрушения, условий залегания, режима и взаимодействия нефтяных и газовых месторождений с подземными водами дают основания для широкого и эффективного использования гидрогеологических исследований при поисках, разведке, геологопромышленной оценке и разработке нефтяных и газовых месторождений.

§ 1. Гидрогеологические особенности основных типов нефтегазоводоносных бассейнов и месторождений нефти и газа

Почти все нефтяные и газовые месторождения находятся внутри водонапорных систем, образуя в совокупности *нефтегазоводоносные бассейны*, или *нефтегазозносные бассейны подземных вод* [3, 4, 6, 10]. В последние годы принято считать, что основное условие нефтегазозности бассейна подземных вод — наличие достаточной по мощности (не менее 2—3 км) толщи осадочных образований, обеспечивающей возможность развития процессов

нефтеобразования, главная фаза которых наступает при погружении осадочных пород на глубины, на которых температура достигает 70—100°C и более [6].

Нефтегазоносны обычно бассейны напорных пластовых вод. В бассейнах с развитием трещинного типа вод и в сочлененных системах мелких бассейнов пластовых и трещинных вод, испытавших значительные изменения при тектонических процессах, нефтегазовые месторождения, как правило, уже разрушены. Таким образом, нефтеобразование и нефтегазонакопление связаны с седиментационными (элизионными) этапами гидрогеологического развития водонапорных систем и соответственно с седиментационными водами, разрушение нефтяных и газовых залежей — с инфильтрационными этапами развития систем и инфильтрационными водами.

Изучение нефтегазоводоносных бассейнов позволяет выделить среди них три основных типа, характеризующихся определенными геолого-структурными и гидрогеологическими особенностями.

Бассейны I типа (палеозойские) располагаются в пределах платформ с древним (докембрийским) фундаментом и частично захватывают прилегающие древние краевые прогибы (Печорский, Балтийский, Днепровско-Донецкий, Припятский, Ангаро-Ленский, Волго-Уральский нефтегазоносные бассейны подземных вод). В орографическом отношении эти бассейны размещаются в пределах равнин и древних предгорий. Нефтегазоносность бассейнов I типа связана в основном с палеозойскими и частично с мезозойскими отложениями (в пределах наложенных бассейнов). Для них характерно однообразие химического и газового состава подземных вод, слабая газонасыщенность, преобладание рассолов и вод хлор-кальциевого типа, значительное развитие и роль современных инфильтрационных процессов почти во всех водоносных комплексах и вместе с тем слабая подвижность заполняющих их подземных вод.

Бассейны II типа (мезозойские) в тектоническом отношении располагаются на плитах с молодым (палеозойским) фундаментом, захватывая прилегающие молодые краевые прогибы альпийских горных сооружений. В орографическом отношении они находятся в пределах равнин и эпиконтинентальных участков морей, захватывая предгорья молодых высоких горных сооружений. Нефтегазоносность в бассейнах II типа связана преимущественно с мезозойскими отложениями (Предкарпатский, Причерноморский, Азово-Кубанский, Среднекаспийский, Амударьинский, Ферганский, Афгано-Таджикский бассейны). Для них характерно сочетание в разрезе инфильтрационных и элизионных систем, широкое развитие наряду с рассолами относительно маломинерализованных подземных вод, высокая газонасыщенность и резкая изменчивость химического и газового состава в плане и по разрезу, локальные проявления инверсионной гидрохимической зональности и гидродинамических аномалий. Промежуточное между I и II типами по-

ложение занимает крупнейший в мире Западно-Сибирский нефтегазовый бассейн подземных вод [6].

III тип нефтегазоносных бассейнов в СССР представлен Южно-Каспийским бассейном и характеризуется нефтегазоносностью преимущественно кайнозойских отложений. Он расположен во внутренней впадине альпийской складчатой системы, занятой морским водоемом и межгорными впадинами. В гидрогеологическом отношении для него показательно исключительное развитие элизионного водообмена, чрезвычайно высокая газонасыщенность основной части разреза, аномальное распределение различных по составу вод (инверсионная гидрохимическая зональность) и аномально высокие пластовые давления в глубоких водоносных комплексах, уменьшающиеся к краевым участкам межгорных впадин.

Пространственное размещение зон нефтегазонакопления в пределах нефтегазоводоносных бассейнов увязывается с их геологоструктурными и литолого-фациальными особенностями и гидродинамическими условиями. Наиболее благоприятны для создания залежей закрытые водонапорные системы элизионного типа, в которых образующиеся в нефтематеринских породах нефть и газ имеют наилучшие условия для отжима их из глинистых отложений и поступления в пласты-коллекторы. В открытых и полужакрытых системах, где обеспечиваются благоприятные условия для продвижения инфильтрационных вод по пластам-коллекторам, залежи нефти и газа оказываются разрушенными либо смещенными к центральным частям водонапорных систем к зонам замедленного и весьма замедленного водообмена. Так, в нефтегазоносных бассейнах равнинного типа (I тип), где чаще в комплексах осадочных отложений развиты инфильтрационные воды, залежи нефти и газа встречаются лишь в центральных частях бассейнов, на значительном удалении от областей современного инфильтрационного питания (в Западно-Сибирском и Волго-Уральском артезианских бассейнах). В межгорных артезианских бассейнах, где наиболее ярко проявляется отжимной режим водонапорных систем, а отжимаемые седиментационные воды движутся от центральных частей впадин к их окраинам, месторождения нефти и газа тяготеют в основном к приборотовым зонам.

Наиболее сложно и разнообразно пространственное размещение нефтегазонакоплений в пределах предгорно-равнинных (мезозойских) бассейнов, где в верхних горизонтах разреза имеет место инфильтрационный режим, а в более глубокозалегающих — инфильтрационно-элизионный, что и находит соответствующее отражение в распределении залежей нефти и газа (как, например, в Азово-Кубанском нефтегазоводоносном бассейне).

Существенная информация о размещении скоплений нефти и газа в пределах нефтегазоводоносных бассейнов может быть получена в результате изучения их гидрогеологических особенностей и аномалий, существование и проявление которых тесно связано с условиями и пространственными закономерностями нефтегазо-

накоплений. Под гидрогеологическими аномалиями понимаются заметные локальные отклонения гидрогеологических условий от установленных для изучаемой территории общих гидрогеологических условий и закономерностей. Отклонения обычно выражаются аномальным поведением гидродинамических, гидрогеохимических, гидрогеотермических и других показателей и дают основания для выделения соответственно гидродинамических (пьезоминимумы и пьезомаксимумы), гидрохимических (аномалии подземных вод по минерализации, хлоридности, составу и содержанию растворенных газов, микрокомпонентов и др.) и гидрогеотермических аномалий. Изучение и соответствующая интерпретация гидрогеологических особенностей и аномалий широко используются в нефтегазописковой гидрогеологии, а также при разведке и разработке месторождений нефти и газа.

В соответствии с существующим положением геологоразведочные работы на нефть и газ проводятся в следующие этапы и стадии: 1) региональный этап (стадии: прогноз нефтегазоносности; оценка зон нефтегазоносности); 2) поисковый этап (стадии: выявление и подготовка объектов к поисковому бурению; поиски месторождений или залежей); 3) разведочный этап (стадии: оценка месторождения; подготовка месторождения или залежей к разведке; эксплуатационная разведка). В зависимости от масштаба и ценности месторождения, степени изученности территории и других факторов отдельные стадии могут выпускаться или совмещаться.

Поисково-разведочные работы на нефть и газ выполняются на базе широких геологических и гидрогеологических обобщений и включают комплексное изучение недр с помощью геолого-структурного картирования, полевых и промысловых геофизических исследований, поисково-разведочного бурения, геохимических методов разведки, гидрогеологических, гидрохимических и других видов исследований. Гидрогеологические исследования ведутся на всех стадиях поисково-разведочных работ, а также в процессе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, обеспечивая более целенаправленное и экономически наиболее эффективное осуществление поисков, разведки и промышленного освоения месторождений нефти и газа.

§ 2. Гидрогеологические исследования при поисках нефтяных и газовых месторождений

Гидрогеологические исследования на всех этапах и стадиях поисковых работ основаны на целенаправленном анализе геолого-гидрогеологических материалов и использовании для поисковых целей различных гидрогеологических показателей — гидрогеохимических, гидродинамических, общегидрогеологических, палеогидрогеологических, гидрогеотермических и др. В зависимости от назначения и характера использования в практике поисково-раз-

ведочных работ на нефть и газ гидрогеологические показатели подразделяются на следующие группы: 1) наличия залежей нефти и газа; 2) наличия нефти и газа; 3) условий формирования скоплений нефти и газа; 4) условий сохранения и разрушения нефти и газа; 5) наличия ловушек нефти и газа [3, 6].

Показателями наличия залежей нефти и газа являются повышенные давление насыщения растворенных в подземных водах газов P_r и содержание в них углеводородных газов, бензола (C_6H_6) и его гомологов, особенно увеличение значений этих показателей навстречу движению подземных вод и в направлениях, благоприятных для накопления нефти и газа геологических структур (ловушек). О наличии нефтегазовых залежей свидетельствуют также значительные амплитуды колебаний уровня воды в скважинах при изменениях атмосферного давления [3].

К числу гидрогеологических показателей наличия нефти и газа (нефтегазоносности) относятся: 1) присутствие в воде растворенных углеводородных газов (метана и его гомологов — этана, пропана, бутана и др.), безаргонного азота, сероводорода, 2) повышенное содержание в воде жидких углеводородов (бензола, толуола и др.), летучих жирных кислот и фенолов, 3) высокие концентрации в подземных водах аммония, иода, брома (при низком <300 хлор-бромном коэффициенте), содержание гидросульфидов и соды, недонасыщенность вод сульфатами и др.

В качестве показателей условий, благоприятствующих формированию скоплений нефти и газа, могут использоваться такие, как продолжительность элизионных этапов, интенсивность элизионного водообмена, удаленность областей питания, малые гидравлические уклоны и скорости потоков и др.

Гидрогеологическими показателями условий сохранения и разрушения нефти и газа являются: закрытость недр, низкие уклоны и скорости потоков, положение областей питания (плановое и высотное), сохранность седиментационных вод, длительность элизионных и инфильтрационных этапов развития систем и др. Гидрогеохимическими показателями, свидетельствующими о благоприятных для сохранения залежей нефти и газа условиях, служат: отсутствие в воде кислорода и высоких концентраций азота, водорода, углекислоты, бессульфатность вод, их высокая минерализация и хлоридность (при отсутствии соляных залежей), высокое содержание брома и гелия, низкое значение хлорбромного и высокое гелий-аргонового коэффициентов и др.

Среди показателей наличия ловушек нефти и газа выделяются гидродинамические (пьезомаксимумы и пьезоминимумы), гидрохимические (аномалии в верхних по отношению к перспективным комплексах и горизонтах по общей минерализации, хлоридности, сульфатности, микрокомпонентам и т. п.) и геотермические (положительные аномалии в вышележащих комплексах и горизонтах), связанные с очагами разгрузки водонапорных нефтегазоносных комплексов.

Краткое рассмотрение гидрогеологических показателей свидетельствует о том, что целенаправленный анализ и обобщение геолого-гидрогеологических данных, выявление гидрогеологических закономерностей, особенностей и аномалий и комплексное использование наряду с другими методами гидрогеологических показателей и информации могут эффективно способствовать решению задач поисков нефтяных и газовых месторождений. Гидрогеологические исследования с нефтегазопромысловыми целями проводятся на различных этапах поисковых работ как в виде специальных съемок, так и в виде тематических исследований с использованием гидрогеологических материалов съемок, изысканий и главным образом бурения и опробования глубоких скважин. Желательно и целесообразно, чтобы в основе всех нефтегазопромысловых гидрогеологических исследований лежало гидрогеологическое районирование с выделением природных водонапорных систем, бассейнов подземных вод, водоносных комплексов и их границ, а также зон питания, разгрузки и создания напора. Оценка перспектив нефтегазоносности по гидрогеологическим показателям наиболее эффективна при изучении бассейна подземных вод в целом. Изучение отдельных районов бассейна должно осуществляться с учетом их регионального гидрогеологического положения и общих гидрогеологических условий рассматриваемого бассейна [1, 6, 10].

Гидрогеологические критерии используются на различных этапах проведения поисков: при сравнительной оценке перспектив нефтегазоносности новых малоизученных областей и районов, при региональных геолого-геофизических работах, при подготовке площадей к поисковому бурению и в процессе непосредственных поисков месторождений нефти и газа. Гидрогеологические критерии применяются для решения конкретных задач, основными из которых являются следующие: оценка перспектив нефтегазоносности конкретных территорий, выявление нефтегазоносных толщ и зон с благоприятными условиями сохранности залежей нефти и газа, выявление месторождений и залежей нефти и газа.

На первоначальных этапах и стадиях поисковых работ для гидрогеологических построений используются материалы геологических, общих и специальных гидрогеологических и гидрохимических съемок, материалы различных изысканий и бурения опорных скважин. Гидрогеологическое районирование и изучение общих гидрогеологических условий призваны способствовать использованию всех нефтегазопромысловых гидрогеологических показателей, а также решению вопросов нефтегазопромысловой гидрогеологии. В зависимости от того, известна ли в данном районе или стратиграфическом комплексе нефтегазоносность или неизвестна, основное внимание необходимо обращать на показатели наличия нефти и газа или на показатели условий их сохранения. Если присутствие нефти и газа доказано, показатели первой группы значения не имеют. Гидрогеологические показатели наличия залежей газа

(давление насыщения растворенных газов) на предварительных этапах поисков могут быть получены лишь при проведении опорного бурения с отбором глубинных проб воды и их специальном анализе.

Специальные гидрохимические съемки на отдельных участках используются главным образом для выявления наличия ловушек (гидрохимические аномалии), а в районах с еще не выявленной нефтегазоносностью они используются и для получения показателей наличия нефти и газа. Проведение гидрохимических съемок по грунтовым водам нецелесообразно при очень глубоком врезе речной сети, несовпадении структурных планов верхних неперспективных и нижних перспективных на нефть и газ этажей, в условиях влажного климата.

На стадии поискового бурения основное значение приобретают гидрогеологические данные, получаемые в результате бурения опорных, параметрических и поисковых скважин и их гидрогеологического опробования. В процессе бурения скважин осуществляются все необходимые при бурении глубоких скважин наблюдения, их гидрогеологическая документация, отбор специальных глубинных проб воды для химических анализов и определения давления насыщения растворенных в воде газов, замеры статических уровней вскрываемых водоносных и водонефтегазоносных комплексов и горизонтов, при необходимости — гидродинамическое их опробование (см. гл. III, § 3, гл. XI, § 1). В результате исследований устанавливаются важнейшие показатели наличия ловушек нефти и газа и нефтегазовых скоплений, а также показатели условий сохранения нефти и газа в перспективных горизонтах. Условием сохранения залежей от механического разрушения подземными водами является неравенство $\theta < \alpha$, (где α — угол падения пласта на крыле структуры; θ — угол наклона водонефтяного или газоводяного контакта). Угол наклона нефтегазоводяных контактов θ связан с гидравлическим уклоном потока пластовых вод I зависимостью Хабберта $\operatorname{tg} \theta = \rho_v I / (\rho_v - \rho_n)$, в которой ρ_v и ρ_n — плотность воды и нефти.

На всех стадиях поисковых работ проводятся гидрогеологические исследования с целью сбора необходимых материалов для сравнительной оценки перспектив нефтегазоносности отдельных бассейнов, районов, площадей, горизонтов. При этом по возможности используются все гидрогеологические показатели. В случае наличия достаточно обширных материалов опорного и глубокого поискового бурения основу для сравнительной (или абсолютной) оценки составляют обычно показатели наличия залежей газа и показатели условий сохранения нефтяных и газовых скоплений.

На основе комплексного использования различных гидрогеологических показателей составляются оценочные карты перспектив нефтегазоносности для отдельных стратиграфических (водоносных) комплексов и регионов (районов) в целом. Общепринятой методики составления таких карт еще нет. Следует лишь отме-

тить, что на картах перспектив необходимо показывать такие данные, которые точнее и полнее отражают условия нефтегазоносности изучаемого региона [1, 6—10].

Совершенно очевидно, что для обоснованного прогноза нефтегазоносности одних только гидрогеологических показателей недостаточно, поэтому карты перспектив, составленные по гидрогеологическим материалам, являются не окончательными, а только вспомогательными документами. Они широко используются для составления общих оценочных карт. При недостатке гидрогеологических данных они используются непосредственно для общих карт перспектив нефтегазоносности, которые составляют геологи с участием гидрогеологов по материалам всех выполняемых в процессе поисков исследований.

§ 3. Гидрогеологические исследования при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений

Тесная гидравлическая связь подземных вод с залежами нефти и газа, влияние их на режим месторождений и условия их эксплуатации, возможность использования гидрогеологических данных для решения многих практических задач и другие факторы предопределяют широкое применение гидрогеологических исследований не только на стадиях поисков, но и в процессе разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений. Для успешного решения задач промысловой гидрогеологии должны быть получены данные, характеризующие: 1) пространственно-геологическое положение подземных вод и залежей нефти и газа и их взаимосвязь; 2) химический состав подземных вод; 3) положение статических уровней и величины пластовых давлений по всем связанным с нефтегазопроявлениями водоносным горизонтам и комплексам; 4) состав и содержание растворенных в водах газов; 5) гидродинамические параметры продуктивных и связанных с ними водоносных горизонтов; 6) геотермические условия изучаемого месторождения; 7) режим продуктивных нефтегазоносных горизонтов и гидродинамические условия их эксплуатации.

Как известно, в промысловой практике подземные воды нефтегазовых месторождений подразделяют на *пластовые* (гравитационные воды нефтегазоводоносных пластов), *тектонические* (движущиеся по тектоническим нарушениям в пределах месторождений), *связанные* (капиллярные, защемленные и другие связанные воды, находящиеся внутри нефтегазонасыщенной части пласта), *конденсационные* (выделяющиеся из газов при конденсации водяных паров) и *технические* (искусственно введенные в продуктивные пласты при бурении скважин, промывках и заводнении пластов в целях поддержания пластового давления).

Наибольшее распространение, важность и значение имеют пластовые воды месторождений, которые в зависимости от их пространственного расположения по отношению к нефтяным и газо-

вым залежам подразделяются на *нижние краевые* (контурные), *подошвенные*, *промежуточные*, *верхние краевые* (встречаются очень редко), *верхние и нижние воды* (рис. 50).

Изучение пластовых, а иногда тектонических и технических вод и получение указанной выше гидрогеологической информации способствуют эффективному решению задач разведки месторождений нефти и газа, правильной интерпретации промыслово-геофизических исследований, проектированию разработки нефтегазовых месторождений, ее рациональному осуществлению и проведению мероприятий по контролю и управлению процессом разработки.

Гидрогеологические исследования при разведке нефтяных и газовых месторождений. В процессе разведочных работ гидрогеологические наблюдения и исследования ведутся в целях установления наличия залежей нефти и газа, определения положения нефтегазоводяных контактов и нефтяных оторочек газовых залежей и их возможных смещений, изучения общего солевого и газового состава подземных вод, определения положения статических уровней и значений пластовых давлений, уточнения гидрогеологических и гидрогеохимических особенностей разреза месторождения, выявления гидродинамических свойств и параметров продуктивных пластов и скважин, установления комплекса прямых и косвенных показателей нефтегазоносности разреза и решения некоторых других практических задач.

Основная масса гидрогеологической информации поступает в процессе гидрогеологических наблюдений и исследований при бурении разведочных, опорных, параметрических и разведочно-эксплуатационных скважин, а также в результате специального опробования различных категорий скважин после их бурения.

Специфика гидрогеологических наблюдений и исследований в глубоких нефтяных и газовых скважинах обусловлена способом их бурения с применением глинистого раствора, конструктивными

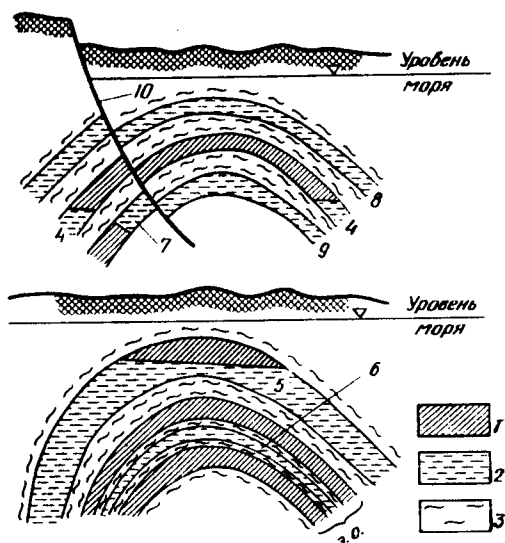


Рис. 50. Схема залегания вод на нефтегазовом месторождении (по М. А. Жданову и М. И. Максиму):

1 — нефть, 2 — вода, 3 — глина, 4 — нижние краевые подземные воды, 5 — подошвенные, 6 — промежуточные, 7 — верхние краевые, 8 — верхние, 9 — нижние, 10 — тектонические подземные воды, Э. О. — эксплуатационный объект

особенностями скважин, значительными глубинами залегания опробуемых горизонтов (2000—3000 м и более), высокими напорами, газонасыщенностью, температурой и другими особенностями и проявлениями подземных вод. В общем плане основные гидрогеологические наблюдения и исследования скважин при разведочных работах на нефть и газ такие же, как и при разведочных работах на минеральные, промышленные и термальные подземные воды (см. гл. XI).

В процессе бурения скважин большое значение придается организации систематических наблюдений за параметрами глинистого раствора, нагнетаемого в скважину и выходящего из скважины. В решении геолого-гидрогеологических вопросов большое значение имеют геофизические работы. Для гидрогеологического опробования скважин и пластов широко применяются специальные методы опробования с применением специальных глубинных приборов и аппаратуры (глубинные лебедки, манометры, пробоотборники, пьезографы, термометры, термографы и т. п.). При опробовании скважин используются специальные методы обработки призабойной зоны (перфорация, торпедирование, промывки, кислотная обработка, пескоструйная перфорация, свабирование и др.) и опробования (экспресс-методы, расходометрия, методы установившихся отборов и восстановления забойного давления, определение давления насыщения растворенных газов и т. п.). Детально особенности проведения гидрогеологических исследований и наблюдений при разведке нефтяных и газовых месторождений, техника и методы осуществления измерений при специальном опробовании скважин, методика обработки и использования исходной гидрогеологической информации освещены в специальной литературе.

Важнейшими гидрогеологическими данными, которые получают в процессе проведения разведочных работ, являются сведения о фактическом и расчетном положении нефтегазоводяных контактов, о положении первоначальных статических уровней и величинах пластовых давлений, о химическом составе вод и растворенных газов, о степени газонасыщенности и давлениях насыщения растворенных газов, о коллекторских свойствах продуктивных пластов и условиях эксплуатации скважин. Для определения положения нефтегазоводяных контактов необходимо иметь данные о пластовых давлениях в залежи P_z и связанных с ней подземных водах P_v , тогда по формуле В. П. Савченко $h_n = [\rho_v \Delta h - 10(P_v - P_z)] : (\rho_v - \rho_n)$ можно оценить превышение точки замера пластового давления в нефтяной (газовой) скважине над нефтегазоводяным контактом. Более удобно положение контактов определять графически (рис. 51), строя график зависимости пластового давления в нефтяных (газовых) и водяных скважинах от высоты положения точек замера пластовых давлений. Линия пластовых давлений в залежи (более крутая) пересекается с линией давления пластовых вод. Ордината точки пересечения указанных линий со-

ответствует отметке контакта, а ее абсцисса — пластовому давлению на уровне контакта [3]. Эти сведения используются для геометризации залежей, оценки общих перспектив и промышленной ценности отдельных участков и месторождения в целом, для определения дальнейших направлений и методики осуществления разведочных работ и решения других практических задач.

Получаемую в результате исследований информацию о гидрогеологических условиях разведуемого месторождения удобно изображать на типовых гидрогеологических разрезах, где наряду с данными по стратиграфии и литологии пород отображаются осредненные сведения о химическом и газовом составе подземных вод, приведенных напорах, дебите и температуре по всем освещаемым стратиграфическим горизонтам.

Для месторождений с резким изменением гидрогеологических показателей по площади начальные гидрогеологические условия удобнее показывать на различных картах (химического состава, минерализации, газонасыщенности, изопьез и др.) по отдельным нефтегазоводоносным комплексам и горизонтам (с выделением зон или построением изолиний).

Получаемая в процессе разведочных работ гидрогеологическая информация используется и для проектирования и разработки нефтяных и газовых месторождений (особенно информация о режиме нефтеводоносных пластов, их гидродинамических свойствах и параметрах, условиях эксплуатации скважин).

Гидрогеологические исследования при проектировании и разработке нефтяных и газовых месторождений. Особую сложность и многообразие приобретают гидрогеологические исследования и наблюдения во время подготовки и ввода в эксплуатацию нефтяных и газовых залежей. Основными задачами этого периода являются: обобщение всех собранных гидрогеологических материалов, определение возможного режима эксплуатации залежей, обоснование наиболее рациональной схемы разработки месторождения и способов осуществления контроля за эксплуатацией нефтяных и газовых залежей.

Для прогноза возможных режимов работы нефтеводоносных пластов при их эксплуатации необходимы гидрогеологические дан-

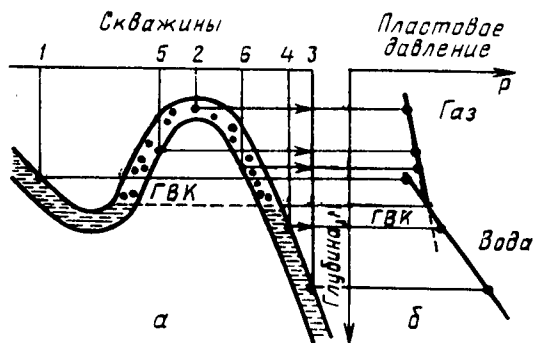


Рис. 51. Графическое определение газовой воды контакта (ГВК) по данным замеров пластового давления:

а — разрез продуктивного пласта, б — график изменения пластового давления с глубиной

ные о строении водонапорной системы, пространственной выдержанности ее нефтегазоводоносных комплексов и горизонтов, удаленности залежей от областей их питания и разгрузки и степени их гидравлической связи с этими областями, возможности существования гидравлической взаимосвязи продуктивных и непродуктивных горизонтов, степени их нефте- и газонасыщенности, объемах и упругих запасах нефтегазоводоносных комплексов, фильтрационных свойствах продуктивной и законтурной области систем и т. п. Все эти данные получают в результате гидрогеологических наблюдений и специального опробования скважин различных категорий (опорных, параметрических, разведочных, эксплуатационных, наблюдательных и др.).

Состав наблюдений и исследований должен включать определение статических уровней и пластовых давлений всех изучаемых горизонтов, отбор проб и определение химического и газового состава подземных вод, степени их газо- и нефтенасыщенности, изучение температурных и гидродинамических параметров пластов в естественных условиях и при эксплуатации скважин и т. д.

Для получения гидрогеологических данных, необходимых для обоснования режима и проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений, большую ценность представляют результаты наблюдений по глубоким скважинам режимной сети, обеспечивающие возможность определения режима глубокозалегающих водоносных и нефтегазоводоносных горизонтов от зон питания до зон их разгрузки с учетом основных региональных закономерностей режима подземных вод [3—7, 10].

Важно отметить, что режим работы нефтеводоносных пластов (который в зависимости от формы пластовой энергии при эксплуатации нефтегазовых месторождений может быть водонапорным, упруговодонапорным, газонапорным, режимом растворенного газа и гравитационным) во многом определяет систему мероприятий по проектированию, осуществлению и контролю процесса разработки месторождений нефти и газа.

Эффективно и широко применяется на практике система разработки месторождений в условиях водонапорного режима с поддержанием пластового давления путем нагнетания воды (или газа) в продуктивные пласты. Заводнение может быть законтурным, приконтурным, внутриконтурным и площадным.

Для обоснования проектирования системы разработки месторождений нефти и газа с поддержанием пластового давления могут потребоваться специальные гидрогеологические исследования по изысканию источников заводнения, их разведке, оценке и прогнозу условий их эксплуатации для заводнения нефтегазовых месторождений. Такого рода исследования аналогичны исследованиям для целей водоснабжения (см. гл. IX) и искусственного пополнения запасов подземных вод (см. гл. X). Режим работы водозаборных сооружений должен быть увязан с системой и технологией закачки вод в продуктивные пласты, а качество вод должно

соответствовать специально обоснованным требованиям в отношении состава, нефтевымывающих и коррозионных свойств вод, температуры, наличия взвесей, глинистых частиц и солей, способных выпадать в осадок. Дополнительно могут понадобиться гидрогеологические исследования в связи с необходимостью изучения и прогноза условий работы нагнетательных скважин — важной составной части системы разработки месторождения в условиях заводнения. Опыт использования подземных вод для поддержания пластового давления в нефтяных залежах при их разработке описан в пособиях [3, 6, 10], а специфика промысловых гидрогеологических исследований, выполняемых для обоснования проектов разработки нефтяных и газовых месторождений, отражена в руководствах [2—7, 10].

Гидрогеологические наблюдения и исследования скважин при разведке и разбуривании месторождений нефти и газа используются также для правильной качественной и количественной интерпретации промыслово-геофизических исследований и обоснования наиболее рациональных их комплексов и способов проведения. Так, применение методов нейтронного, импульсного нейтрон-нейтронного и гаммакаротажа оказывается эффективным при высоком содержании в пластовых водах хлора, а методов наведенной активности по натрию — натрия. Для интерпретации электрокаротажных диаграмм необходимо изучение минерализации и ионно-солевого состава подземных вод, определяющих кажущееся сопротивление и собственные потенциалы пород и т. д.

Гидрогеологические исследования, связанные с разработкой нефтяных и газовых залежей, следует начинать в первых разведочных и эксплуатационных скважинах, в которых при опробовании были получены притоки нефти и газа. В течение всего периода эксплуатации залежей необходимо осуществлять также наблюдения и исследования в законтурных скважинах. Цель исследований и наблюдений — выявление изменения давления в залежи и перераспределения его по площади, изменений нефтегазонасыщенности и водонасыщенности пластов, перемещения водонефтяных, газонефтяных и газоводяных контуров, изменения физических и химических свойств извлекаемых из залежи нефти, газа и воды. Для наблюдения за изменением степени обводненности нефтяной или газовой залежи выполняют точные замеры дебитов жидкости и определяют содержание в ней нефти и воды по всем скважинам и в целом по залежи. Обычно эти данные обобщаются в виде кривых по отдельным наиболее характерным скважинам и обязательно по разрабатываемым залежам.

Наряду с исследованием скважин, расположенных в пределах контуров нефтеносности или газоносности, ведут непрерывные наблюдения за изменением уровней и в пьезометрических скважинах. В эту категорию обычно входят разведочные скважины, оказавшиеся за контуром нефтегазонасыщенности, или скважины, ранее эксплуатировавшиеся и впоследствии обводнившиеся пластовой во-

дой; на некоторых площадях для этой цели проходят специальные скважины.

Законтурные скважины дают представление о пластовом давлении в период разработки и эксплуатации нефтяной или газовой залежи. Наблюдения за изменением уровней вод в этих скважинах осуществляются с начала разработки нефтяной или газовой залежи путем непрерывного замера их регистрирующими уровнемерами или манометрами с последующим построением графиков изменения динамического уровня во времени. Для наблюдения за перемещением газонефтяных и водонефтяных контуров ежегодно составляются карты обводненности с нанесением на них обводнившихся скважин и контуров нефтегазоносности.

Для изучения изменений химического состава и свойств подземных вод во времени из эксплуатационных и наблюдательных скважин отбираются пробы воды на химический анализ и другие определения примерно через каждые 10 дней в течение первых трех месяцев с момента появления воды, затем через месяц в течение года, а в последующем не менее двух раз в год.

Гидрогеологические и гидрохимические данные, получаемые в результате всех видов наблюдений, лабораторных работ и специальных исследований, систематизируют и изображают в виде различных разрезов, профилей, карт и графиков, используемых для контроля и управления процессом разработки нефтяного или газового месторождения [2—10]. В частности, в процессе эксплуатации залежей нефти и газа осуществляется контроль за обводнением скважин и залежей, перемещением контуров водоносности и нефтеносности, процессом заводнения продуктивных пластов и поддержанием в них пластового давления, техническим состоянием скважин, условиями их эксплуатации и т. д.

Изложенное убедительно показывает, что гидрогеологические исследования являются важнейшей составной частью общего комплекса работ и изысканий, выполняемых при поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений.

ГЛАВА XV

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В нашей стране намечены и осуществляются грандиозные планы гидротехнического, промышленного, гражданского и других видов строительства, темпы развития которых возрастают от года к году. Вместе с ними постоянно растут и требования к выполнению в соответствующих объемах гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий, обосновывающих проекты строительства гидротехнических, промышленных, гражданских и других инженерных сооружений.

Гидротехническое строительство, являющееся основой энергетики, должно осуществляться в нашей стране комплексно с учетом интересов развития судоходства, водоснабжения, орошаемого земледелия, перераспределения и регулирования водных ресурсов, рыбного хозяйства, осушения болот и заболоченных земель и т. д. В связи с этим большие требования предъявляются и к выполняемым для обоснования проектов строительства изысканиям, которые должны дать достоверную и качественную информацию о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях строительства проектируемых сооружений, помочь сделать правильный и всесторонне научно обоснованный выбор наиболее рациональных проектных решений, их эффективное осуществление и оптимальные условия последующей эксплуатации инженерных сооружений. В то же время сами изыскания должны проводиться в минимально короткие сроки наиболее рациональными и эффективными методами при минимальных затратах труда и материальных средств.

Следовательно, целенаправленное, эффективное и качественное проведение гидрогеологических, инженерно-геологических и других видов изысканий — залог правильного и всесторонне обоснованного осуществления проектирования, строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений.

§ 1. Общие положения проведения изысканий для различных видов строительства

Для обоснования проектов строительства гидротехнических, промышленных, гражданских и других инженерных сооружений проводится сложный комплекс инженерных изысканий, основными задачами которых являются: 1) изучение геологического строения, гидрогеологических и инженерно-геологических условий района строительства; 2) специальная оценка условий намеченного строительства по всем возможным вариантам его осуществления и выбор на этой основе наиболее благоприятного по сумме всех показателей варианта; 3) получение необходимой для оптимального проектирования объекта исходной гидрогеологической и инженерно-геологической информации; 4) инженерный прогноз и оценка возможного влияния проектируемых инженерных сооружений и мероприятий на различные элементы природных условий и другие инженерные сооружения; 5) получение всей необходимой информации для разработки системы мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональные условия строительства и эксплуатации проектируемых объектов и предотвращение (или уменьшение) их неблагоприятного воздействия на природные условия и другие виды строительства.

Успешное решение перечисленных и других задач проектирования и строительства инженерных сооружений возможно лишь при постоянной и тесной увязке изысканий и проектирования, ко-

торые должны планироваться и осуществляться как единый технологический процесс, в ходе которого изыскатели, обеспечивая эффективное выполнение задач проектирования, своими рекомендациями активно влияют и способствуют выбору и обоснованию наиболее рациональных проектных решений.

Инженерные изыскания неразрывно связаны с проектированием строительства, предшествуют ему и осуществляются в зависимости от стадии проектирования, состава намеченных для решения задач, степени изученности природных условий, масштабов и специфики проектируемых сооружений.

В соответствии с существующими положениями решения о проектировании любых объектов должны приниматься исходя из схем развития народного хозяйства, схем размещения производительных сил по экономическим районам, а для крупных объектов — на основе технико-экономических обоснований, подтверждающих экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость проектирования и строительства намечаемых объектов. Для составления схем и технико-экономических обоснований, особенно в сложных природных условиях и при проектировании крупных объектов, может потребоваться определенный комплекс изысканий, нередко регионального плана. При достаточной изученности районов намечаемого строительства исследования в предпроектный период ограничиваются рекогносцировочным обследованием и камеральной обработкой накопленных материалов по гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям.

Проектирование объектов гидротехнического, промышленного или гражданского строительства осуществляется в две (проект и рабочая документация) или одну (рабочий проект) стадии. Одностадийное проектирование целесообразно в простых природных условиях, для не крупных объектов, а также при использовании типовых проектов.

Для обоснования проектирования на каждой из его стадий проводятся инженерные изыскания — комплексное изучение природных условий района (участка) строительства для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих разработку технически правильных и экономически наиболее целесообразных решений при проектировании и строительстве.

Инженерные изыскания включают гидрогеологические, инженерно-геологические, геодезические, гидрометеорологические и другие виды исследований и осуществляются в основном специализированными проектно-изыскательскими организациями системы Госстроя СССР (промышленное и гражданское строительство), министерств энергетики и электрификации, геологии, специальных строительных работ и других ведомств и министерств (специальные виды строительства).

Инженерные изыскания выполняются на основе выдаваемых проектными организациями на каждой стадии проектирования технических заданий, в которых излагаются необходимые сведе-

ния об объекте проектирования, целевое назначение и задачи изысканий, сроки проведения изысканий, особые требования к гидрогеологическому или инженерно-геологическому обоснованию проекта и условиям его осуществления, формы и сроки отчетности и т. д. [5, 11].

Для проведения изысканий на каждой из стадий составляются программа (на крупных объектах по видам изысканий, на мелких — одна на все виды изысканий), проект проведения изысканий и смета, определяющие состав, объемы, методику, последовательность, организацию и стоимость проведения изысканий. При составлении этих основных документов должны быть учтены требования главных принципов проведения геологоразведочных работ (см. гл. I, § 2) и положения действующих инструктивных, нормативных и методических документов [4, 5, 9—12]. В обязательном порядке должно быть обеспечено выполнение следующих условий: 1) стадийность и этапность проведения изысканий и их организационная увязка с проектированием; 2) динамичность программы изысканий и обеспечение возможности получения и контроля промежуточных результатов; 3) оптимальный состав и объемы комплексных исследований, обеспечивающие качественное проведение изысканий с учетом специфики намечаемого строительства и особенностей природных условий района в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

При подготовке и проведении изысканий для обоснования проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений необходимо неукоснительно соблюдать законы об охране природы и осуществлении мероприятий, исключающих или уменьшающих неблагоприятное воздействие проектируемых объектов на природу района и другие инженерные сооружения. В первом приближении могут быть намечены основные направления, вытекающие из требований указанного положения: 1) необходимость неукоснительного соблюдения требований законоположений по охране природы в процессе подготовки и проведения изысканий (исключение необоснованных потрав сельскохозяйственных культур, вырубок леса, загрязнений подземных и поверхностных вод, заболачивания, пожаров, гибели птиц и животных, недопущение активизации нежелательных естественных процессов — оползней, обвалов, осыпей, просадок и т. п., организация ликвидационных работ с обязательным проведением восстановительных и рекультивационных мероприятий; 2) активное содействие обоснованию проектов инженерных сооружений по вариантам с минимальным объемом вредных воздействий проектируемых объектов на природу (обоснованный выбор участков, площадей и трасс с учетом возможного влияния проектируемых объектов на экологию района, целенаправленное проведение изысканий); 3) обеспечение надежной основы для осуществления оценки и прогнозов возможных изменений природных условий в процессе строительства и эксплуатации проектируемых сооружений и обоснования защитных

мероприятий, исключающих или уменьшающих их вредное воздействие (изучение степени и характера воздействия проектируемых сооружений и мероприятий на элементы природы, получение необходимой для прогнозов исходной информации и расчетных параметров, инженерное обоснование защитных мероприятий — противофильтрационных, дренажа, обвалования, подсыпок, технических мелиораций и др.). Более детально вопросы охраны природы при проектировании и осуществлении инженерных изысканий рассмотрены в работе [11].

Гидрогеологические, инженерно-геологические и другие исследования на любой стадии или этапе их проведения осуществляются по следующей схеме. В подготовительный период выполняется: ознакомление с техническим заданием на изыскания; сбор, обобщение и целенаправленный анализ материалов предыдущих исследований, дешифрирование аэрофотоснимков и т. д., определение задач предстоящих исследований с учетом степени изученности и сложности природных условий района исследований и требований технического задания, составление программы проекта и сметы на проведение исследований с определением рационального их комплекса, специфики и методов выполнения; проведение организационно-технических мероприятий для обеспечения эффективного и качественного выполнения изысканий. В полевой период проводятся исследования всех видов, увязка их объемов, места проведения, совершенствование методики исследований, корректировки, оформление полевой документации. В камеральный период окончательно обрабатываются и анализируются результаты выполненных исследований с составлением необходимых отчетных материалов.

Состав и объемы инженерных изысканий, а также отдельных видов исследований зависят от назначения проектируемого строительства (гидротехническое, промышленное, гражданское), стадии проектирования, важности объекта, степени изученности и сложности природных условий изучаемого района.

В общем случае гидрогеологические исследования, являющиеся важной составной частью комплекса инженерных изысканий, включают проведение комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки, режимных наблюдений, опытно-фильтрационных работ, моделирования, лабораторных и гидрохимических исследований. Содержание и методику гидрогеологических исследований целесообразно рассмотреть дифференцированно по видам строительства.

§ 2. Гидрогеологические исследования для целей гидротехнического строительства

Гидрогеологические исследования для целей гидротехнического строительства могут проводиться как в предпроектный период (для обоснования схемы комплексного использования водных ре-

сурсов реки или ее бассейна и для технико-экономического обоснования целесообразности гидротехнического строительства), так и для обоснования проектирования на стадиях проект и рабочая документация. Для обоснования схемы и ТЭО обычно используются материалы региональных геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических исследований (в частности мелкомасштабных и среднемасштабных съемочных работ), характеризующие территорию проектируемых гидроузлов, водохранилищ и трасс каналов по всем конкурирующим вариантам. Особое внимание при изысканиях уделяется площадям предполагаемого размещения инженерных сооружений и участкам с неблагоприятными для строительства гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями (на таких участках допустимо проведение съемок более крупного масштаба). Основным видом работ, обосновывающим составление ТЭО, является комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка в масштабах 1:50 000—1:200 000 (при строительстве на крупных равнинных реках) и 1:25 000—1:50 000 (при строительстве на горных реках и в сложных природных условиях). При достаточной изученности районов осуществляются лишь рекогносцировочные исследования, которые наряду с полученными материалами должны давать общее представление о значении гидрогеологических факторов для строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ, а также освещать условия строительства по конкурирующим вариантам.

Большой комплекс гидрогеологических исследований выполняется для обоснования проектов гидротехнического строительства на стадиях проект и рабочая документация (или на стадии рабочих проект при одностадийном проектировании). При этом осуществляются специализированные гидрогеологические исследования на участках размещения инженерных сооружений и водохранилищ, по трассам каналов и тоннелей, зонам развития подпора и неблагоприятных физико-геологических процессов.

Задачи исследований следующие: 1) изучение общих гидрогеологических условий района строительства и, в частности, участков размещения инженерных сооружений и водохранилищ, 2) определение фильтрационных потерь в районе плотин и других водонапорных сооружений, а также из водохранилищ, каналов и напорных бассейнов, 3) обоснование проектов противофильтрационных и дренажных мероприятий, 4) оценка водопритоков в строительные котлованы и обоснование проектов водопонижения и водоотлива, 5) прогнозы развития подпора грунтовых и напорных вод в зоне влияния верхнего бьефа, 6) определение суффозионной устойчивости зернистых пород и рыхлого заполнителя трещин и пустот, 7) оценка агрессивного действия подземных вод на бетон и другие материалы, 8) изучение выщелачиваемости солей в основании сооружений, 9) оценка возможности организации водоснабжения объектов гидротехнического строительства за счет

использования подземных вод, 10) оценка воздействия гидротехнического строительства на элементы природной среды.

Для обеспечения решения поставленных задач проводится комплекс гидрогеологических исследований, обычно включающий съемочные работы, разведочные горно-буровые работы, стационарные гидрогеологические наблюдения, опытно-фильтрационные и лабораторные работы, гидрохимические исследования, моделирование. Данные гидрогеологических исследований обрабатываются аналитически, графически, с помощью моделирования и другими способами и выдаются для использования при проектировании и обосновании прогнозов в виде карт (гидронизогипс, гидронизопьез, гидродинамических и др.), профилей (водопроницаемости, гидрохимических), графиков изменения уровней, химического состава, температуры воды и т. п.

Состав и объем гидрогеологических исследований определяются для каждого конкретного вида строительства с учетом стадии проектирования, особенностей гидротехнических сооружений, характера поставленных задач, степени изученности и сложности природных условий.

Основная стадия проектирования — проект, для обоснования которого исследования должны дать материалы, обеспечивающие окончательный выбор местоположения всех основных инженерных сооружений, выявление условий их строительства и решение основных оценочных и прогнозных гидрогеологических задач.

На стадии рабочая документация осуществляются исследования по уточнению и детализации гидрогеологических условий, обеспечивающие доработку и обоснованную корректировку отдельных технических решений, гидрогеологическая документация строительных выемок, котлованов и других выработок, при необходимости опытно-строительные работы (по осуществлению противофильтрационных мероприятий, устройству дренажей и т. п.), продолжается цикл наблюдений за режимом подземных вод.

Гидрогеологические исследования осуществляются также в период строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений в целях обеспечения надлежащей гидрогеологической документации и надзора в период строительства, уточнения гидрогеологических прогнозов и степени их соответствия реальным условиям, контроля за состоянием пород основания и развитием влияния гидротехнического строительства на природные условия района, оценки результативности выполненных исследований и совершенствования методики их проведения.

Исследования для обоснования проектов плотин и других водонапорных сооружений. Основной вид исследований для обоснования проекта — комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка, которая на первом этапе проводится на участках возможного расположения створов плотин (нередко по двум-трем конкурирующим створам). В зависимости от сложности природных условий района и размеров плотин масштабы

съемки принимаются от 1:5000 до 1:25 000 с последующей детализацией съемочных работ на выбранном створе до масштабов 1:2000—1:5000 (второй этап исследований). Методика выполнения съемочных работ аналогична общепринятой (см. гл. II). Особое внимание уделяется изучению литологии, тектоники, трещиноватости и фильтрационных свойств горных пород и их изменчивости в плане и по разрезу. В значительном объеме выполняются разведочные и опытно-фильтрационные работы (откачки, наливов, нагнетания), осуществляются гидрохимические исследования, организуются стационарные наблюдения за режимом подземных вод. Разведочные выработки располагают на участках предполагаемого размещения основных сооружений и их котлованов по створам, ориентированным по оси сооружения и по линиям, параллельным и перпендикулярным ей, с расстоянием между выработками 50—200 м. Глубину скважин, как правило, назначают с учетом полного вскрытия рыхлых четвертичных отложений, выветрелой зоны дочетвертичных пород и заглубления их в относительно непроницаемые и прочные породы коренной основы на 8—10 м. Зона исследований в сторону берега ограничивается распространением слабопроницаемых пород, но, как правило, не превышает по ширине трехкратного значения действующего напора (считая от границы НПГ). На стадии рабочей документации детализируются исследования в пределах выбранного и параллельных ему створов, проходятся дополнительные скважины, шурфы и котлованы, выполняются опытно-фильтрационные, гидрохимические и специальные исследования. Нередко наиболее сложные вопросы, связанные с выбором типа сооружений, условиями производства работ в котлованах, осуществлением противофильтрационных мероприятий, устройством дренажей и пр., могут решаться на данной стадии проведением специальных опытно-строительных работ, например таких, как проходка опытных котлованов, опытное наполнение их водой, с наблюдением за развитием фильтрационных процессов, опытная цементация на типовых участках, опытное водопонижение и прочее.

Разведочные выработки на стадии рабочей документации располагаются, как правило, в пределах контуров сооружений и их котлованов. За их пределами проходятся только те выработки, которые предназначены для решения специальных вопросов по уточнению режима подземных вод, особенностей их фильтрации, химического состава и т. п. Расстояния между выработками на участках, требующих уточнения в пределах сооружения с очень сложными условиями, принимаются 25—50 м, сложными — 50—100 м и с простыми могут превышать 100 м. Глубина выработок определяется мощностью активной зоны, образующейся под сооружением, конструкцией подземного контура сооружений и особенностью природных условий. Большое значение на этой стадии приобретает проходка большого сечения (открытых) разведочных выработок — шурфов, шахт, штолен, смотровых скважин.

В составе опытно-фильтрационных работ большое значение приобретают кустовые опытные откачки, часто длительные, с большим понижением уровней и широкой сетью наблюдательных скважин. Опытные кусты целесообразно размещать в основании сооружений, на участках плечевых примыканий, размещения котлованов и других площадок, неблагоприятных в фильтрационном отношении. Опытные нагнетания преимущественно проводятся на участках цементационных завес, в бортовых примыканиях и в пределах противофильтрационного контура в основании сооружений.

Расширяется сеть наблюдательных скважин с учетом расположения котлованов, дренажных и противофильтрационных сооружений и необходимости решения некоторых вопросов по взаимосвязи водоносных горизонтов, агрессивности подземных вод, опасности зарастания фильтров водопонижительных скважин гидроокислами железа и т. п. Наблюдательные скважины обычно располагают по оси плотины и на параллельных створах в пределах террас и бортов долины. Расстояния между скважинами на террасах близ реки принимают 50—100 м, на удаленных участках — до 200—500 м. У оси плотины должен быть оборудован водомерный пост и при отсутствии вблизи метеорологических станций — метеостанция третьего разряда [5, 12]. Объем гидрогеологических изысканий на стадии рабочей документации определяется вопросами, которые остались нерешенными при утверждении проекта, однако в целом он не должен превышать объема изысканий, выполненных на стадии проекта.

Гидрогеологические исследования в районах проектируемых водохранилищ. Гидрогеологические исследования чаши водохранилищ и прилегающих территорий осуществляются в связи с оценкой возможных фильтрационных потерь, устойчивости берегов и прогнозом подпора и подтопления прилегающих территорий. Обычно исследования для обоснования проектов водохранилищ проводятся в два этапа.

На первом этапе на основании проведения комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1 : 50 000 или 1 : 100 000, осуществляемой в пределах чаши водохранилищ, прилегающих территорий (в зоне 0,5—2 км) и водораздельных участков, дается общая оценка надежности водохранилища в отношении фильтрационных потерь и намечаются участки для более детального их изучения в связи с прогнозом развития подпора и подтопления и более точной количественной оценкой возможных фильтрационных потерь. В хорошо изученных районах и в пределах крупных рек платформенных областей съемка может быть заменена маршрутными исследованиями чаши проектируемого водохранилища и прилегающих территорий.

На втором этапе исследования осуществляются в пределах выбранных неблагоприятных по условиям подпора, подтопления и фильтрационных потерь участков и заключаются в проведении де-

тальных съемочных работ (масштабов 1:5000—1:25 000) разведочного бурения, опытно-фильтрационных и лабораторных исследований, стационарных гидрогеологических наблюдений. В сложных гидрогеологических условиях, когда возможна значительная вертикальная фильтрация, детализированному изучению может подвергаться вся площадь чаши водохранилища или значительная ее часть. Разведочные гидрогеологические скважины на водораздельных участках закладываются по поперечникам с расстоянием между ними от 0,2 до 5 км. (в зависимости от сложности условий), с размещением 2—4 скважин на каждом поперечнике и доведением их по выдержанного водоупора. Фильтрационные свойства изучаются по результатам проведения откачек, наливов и нагнетаний, а также лабораторных работ. Для водохранилищ с возможной вертикальной фильтрацией разведочные выработки (скважины и шурфы), вскрывающие разрез четвертичных образований, размещаются равномерно по площади чаши водохранилища (по сетке с шагом 0,5—1 км) со сгущением их в местах существенной неоднородности и повышенных фильтрационных свойств.

Стационарные гидрогеологические наблюдения на водоразделах проводятся обычно по одному-двум створам с использованием 2—3 скважин на каждом из них. В условиях развития закарстованных пород в режимную сеть включаются все гидрогеологические скважины с последующим использованием выполняемых по ним наблюдений для определения осредненного по большой площади коэффициента фильтрации [5, 12].

Исследования для оценки фильтрационных потерь из напорных бассейнов гидроэлектростанций осуществляются так же, как и для водохранилищ.

Участки, изучаемые в связи с прогнозом развития подпора подземных вод, исследуются с проведением съемочных работ масштабов 1:5000—1:25 000 и с заложением скважин по поперечникам, перпендикулярным к берегам проектируемого водохранилища [12]. Расстояние между поперечниками принимается от 0,3 до 1,5 км с расположением не менее трех скважин на каждом из них (первая на урзе водохранилища, последняя на предполагаемой границе развития подпора). Не менее 50% скважин доводится до водоупора, остальные заглубляются на 7—10 м ниже уровня грунтовых вод. Из скважин, располагаемых по трассам дренажных сооружений, проводятся опытные (преимущественно кустовые) откачки. Выполняемые исследования (съемка, бурение, стационарные наблюдения, опытно-фильтрационные и геофизические работы) должны обеспечить получение материала, достаточного для достоверного обоснования расчетной фильтрационной схемы и осуществления инженерных прогнозов по развитию подпора и подтопления прилегающих территорий и расчетам защитных дренажей. На стадии рабочей документации в районах водохранилищ продолжаются стационарные гидрогеологические наблюдения и проводятся дополнительные исследования при необходимости уточнения прогнозов подпора и со-

става мероприятий по борьбе с подтоплением прилегающих территорий и переработкой берегов водохранилищ. Возможно проведение работ по осуществлению опытной цементации, битумизации и других противофильтрационных и дренажных мероприятий.

Гидрогеологические исследования на участках заложения каналов, тоннелей и других инженерных сооружений. Исследования на участках деривационных сооружений (каналов, тоннелей, трубопроводов и др.) должны обеспечить решение задач, связанных с оценкой фильтрационных потерь, прогнозом подпора, устойчивостью сооружений, обоснованием противофильтрационных и дренажных мероприятий и условиями проведения строительных работ.

Вдоль трасс каналов и тоннелей с охватом полосы шириной 0,5—2 км обычно проводятся комплексные съемочные работы в масштабах 1:5000—1:25 000 с последующей детализацией работ до масштабов 1:2000—1:5000, бурением скважин и проходкой шурфов вдоль изучаемых трасс (на расстоянии 0,2—1 км), заложением поперечников на участках, неблагоприятных в фильтрационном отношении и сложных по геолого-литологическим особенностям и строению, выполнением опытно-фильтрационных работ и стационарных гидрогеологических наблюдений. Скважины углубляются на 10—15 м ниже отметок дна каналов и тоннелей преимущественно с доведением их до выдержанного водоупора. В сложных условиях для надежного определения фильтрационных потерь проводятся полевые опыты по фильтрации воды из котлованов, имеющих поперечное сечение, аналогичное проектируемым каналам.

Более детально вопросы проведения гидрогеологических исследований для обоснования проектов строительства отдельных гидротехнических сооружений освещены в работах [5, 6, 8, 9, 11, 12]. Гидрогеологические исследования для обоснования проектов строительства водопонижения (в том числе и при гидротехническом строительстве) рассмотрены в § 5 настоящей главы.

§ 3. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей гидротехнического строительства

Детально особенности проведения гидрогеологических исследований при гидротехническом строительстве и обобщение опыта таких исследований изложены в работах [5—9, 11, 12]. Ниже дается краткое их рассмотрение по основным видам гидрогеологических исследований.

Съемочные работы. В процессе съемки осуществляются всесторонние комплексные исследования с особым упором на изучение и тесную увязку гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений и исследований. Тщательным образом изучаются литологические особенности пород, микротектоника, трещиноватость, проявления карста и выщелачивания, фильтрационные свойства отложений и закономерности их изменения, особенно на участках запроектированного размещения гидротехнических сооружений.

Важнейшей задачей является также оценка возможного агрессивного влияния подземных вод на различные инженерные сооружения и на развитие нежелательных физико-геологических явлений и процессов.

В процессе съемочных работ и опробования разведочных скважин широко применяются геофизические методы исследований (определение границ пород, различных по составу, мощности покровных отложений, направления и скоростей движения подземных вод, изучение тектонических условий и трещиноватости, многолетней мерзлоты, фильтрационных свойств и т. д.).

Горно-буровые работы — один из основных видов изысканий, обеспечивает получение наиболее полной информации о геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях изучаемого района. Наиболее широко практикуется применение колонкового способа бурения скважин (в скальных, полускальных и глинистых породах), обеспечивающее более полную документацию разреза и благоприятные условия для проведения нагнетаний (см. гл. III, § 1 и 3). Реже применяются ударноканатный, шнековый и вибрационный виды бурения (в рыхлых и связных породах). На наиболее ответственных участках (основания и плечевые примыкания плотин, чаши водохранилищ) проводятся горные выработки (шахты, штольни, шурфы) с детальной их гидрогеологической и инженерно-геологической документацией (см. гл. III, § 4). Обязательна тщательная плано-высотная привязка всех разведочных выработок с нивелировкой нулевой точки в скважинах для гидрогеологических наблюдений.

Опытно-фильтрационные работы. Основной, определяемой по результатам опытно-фильтрационных работ характеристикой является коэффициент фильтрации. Реже определяются другие параметры: увнепроеводность, пьезопроводность, недостаток насыщения, капиллярное поднятие, направление и действительная скорость движения подземных вод. Основными видами опробования являются для водоносных пород одиночные и кустовые опытные откачки и нагнетания, для неводоносных наливыв в шурфы, наливыв и нагнетания в скважины. При определении только коэффициента фильтрации длительность опытов несколько сокращается. Широко практикуется поинтервальное опробование горных пород с построением эпюр, профилей и карт водопроницаемости. Результаты поинтервального опробования скважин нагнетаниями являются основным материалом для выбора типа и контуров противифильтрационных устройств и завес в основаниях и примыканиях проектируемых плотин (см. гл. IV, § 4).

Для определения направления и скорости движения подземных вод широко используются индикаторные и радиондикаторные методы. Методика опытно-фильтрационных работ аналогична общепринятой и освещена в гл. IV.

Стационарные гидрогеологические наблюдения за режимом подземных вод осуществляются в период изысканий, строительства и

эксплуатации гидротехнических сооружений и обеспечивают решение разнообразных гидрогеологических задач (прогноз развития подпора и подтопления, оценка фильтрационных потерь и агрессивных свойств воды, уточнение и определение гидрогеологических параметров, обоснование противofильтрационных и дренажных мероприятий, изучение влияния гидротехнических сооружений на изменение гидрогеологических и гидромелиоративных условий прилегающих территорий и др.).

Для проведения стационарных наблюдений создается режимная сеть, включающая пьезометрические скважины, колодцы, источники и водомерные посты. Схема режимной сети намечается с учетом конкретных геолого-гидрогеологических условий участка, расположения и характера проектируемых сооружений, максимального использования материалов по разведочным и наблюдательным скважинам.

При изысканиях для составления схемы наблюдения за режимом осуществляются в отдельных точках, для ТЭО задаются поперечники скважин по осям конкурирующих вариантов плотин и на характерных участках. При изысканиях для проекта режимная сеть должна покрывать весь район с более детальным освещением участков примыканий и основания плотины, трасс каналов, котлованов и дренажей.

В период строительства режимная сеть дополняется пьезометрами для наблюдений за развитием депрессионной воронки при осушении котлованов, а после завершения строительства оборудуется сеть наблюдательных скважин для контроля за изменениями гидрогеологических условий в основании и примыканиях плотин, по берегам каналов, водохранилищ, у цементационных завес и дренажей. Размещение скважин в береговых примыканиях осуществляют по линиям токов или по расходящимся от оси плотины лучам (рис. 52). В основании земляной плотины створы скважин располагают перпендикулярно ее оси. Для наблюдений за напорами подземных вод и развитием процессов растворения и выщелачивания пород в основании плотин закладывают пьезометрические скважины. На рис. 53 — гидрогеохимическом профиле — приведена схема размещения пьезометров в основании уникальной плотины Камской ГЭС, построенной на гипсоносных породах [6]. Общее количество наблюдательных скважин на сложных объектах может достигать до 300—500. Частота наблюдений за режимом обычно составляет 3—10 раз в месяц, в периоды паводков ежедневно. Отбор пробы воды на химические анализы и замер температуры проводятся в периоды летней, осенней и зимней межени, перед половодьем, его пиком и после его спада. Результаты режимных наблюдений систематически обрабатываются (с построением графиков, профилей, карт), анализируются для решения гидрогеологических и других задач.

Гидрохимические исследования имеют своей целью не только оценку агрессивных свойств воды и установление режима химического состава подземных вод, но и изучение процессов выщелачи-

вания и растворения солей пород основания и примыкания сооружений (рис. 53).

Основной объем гидрохимических исследований (химические анализы проб воды, определения агрессивных свойств и выщелачи-

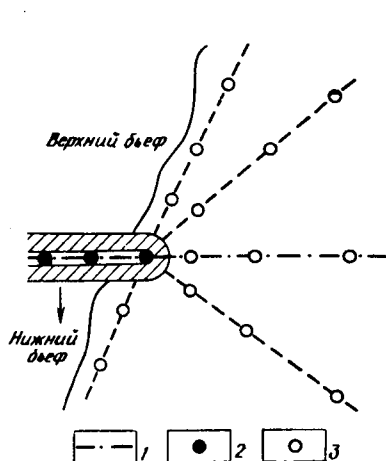


Рис. 52. Схема расположения наблюдательных скважин для изучения режима подземных вод после сооружения плотины:

1 — ось плотины, 2 — наблюдательные скважины на плотине, 3 — наблюдательные скважины на берегу

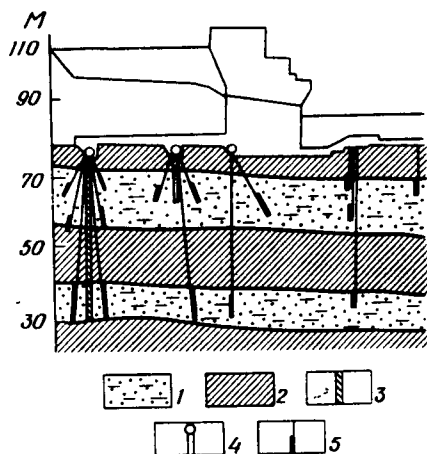


Рис. 53. Схема размещения скважин-пьезометров в основании бетонной плотины Камской ГЭС:

1 — водоносные горизонты, 2 — практически водоупорные породы, 3 — цементационная завеса в понуре, 4 — вертикальный дренаж из потерны, 5 — пьезометр и его рабочий интервал

вающей способности вод, специальные анализы по заданиям) выполняется при изысканиях для обоснования ТЭО и проекта, а также в составе стационарных режимных наблюдений.

§ 4. Гидрогеологические исследования для целей промышленного и гражданского строительства

Для обоснования проектирования промышленного и гражданского строительства осуществляются изыскания в основном инженерно-геологического профиля: рекогносцировочное инженерно-геологическое обследование территории, инженерно-геологические съемки комплексного характера (обычно в масштабах 1:10 000—1:2000), инженерно-геологическая разведка (комплекс полевых, лабораторных и камеральных методов исследований и опробования). Неизменной составной частью инженерных изысканий явля-

ются гидрогеологические наблюдения и исследования, выполняемые как в процессе рекогносцировочного обследования и съемки, так и при инженерно-геологической разведке [10, 11].

Осуществляемые при инженерных изысканиях для строительства гидрогеологические исследования и наблюдения призваны способствовать всесторонней оценке инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства, изучению характера и степени влияния различных гидрогеологических факторов на условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений, оценке возможного влияния проектируемых сооружений на изменение гидрогеологических и гидромелиоративных условий прилегающих территорий, выявлению и оценке степени агрессивного и коррозионного воздействия подземных вод на подземные части инженерного сооружения и их возможного влияния на развитие неблагоприятных физико-геологических явлений и процессов (суффозии, просадок, оползней, карста и др.), разработке системы мероприятий, обеспечивающих более благоприятные условия строительства в сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях (водопонижение, гидроизоляция, дренаж, технические мелиорации).

Для эффективного решения перечисленных задач при рекогносцировочном обследовании территории и инженерно-геологических съемках осуществляются гидрогеологические наблюдения и опробование естественных и искусственных водопроявлений, отбор проб воды на химические анализы, соответствующая гидрогеологическая документация горно-буровых работ (скважин, шурфов, расчисток, котлованов), лабораторные и полевые опытно-фильтрационные работы, гидрогеологические наблюдения по изучению режима грунтовых и реке напорных подземных вод (обычно в сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях). Детально методика таких наблюдений и исследований изложена в специальных руководствах [10—12]. В процессе инженерно-геологической разведки, осуществляемой на более поздних стадиях изысканий (обычно для обоснования проекта и рабочей документации) выполняются в основном опытно-фильтрационные работы, гидрогеологическая документация выработок и котлованов, стационарные гидрогеологические наблюдения. При этом в составе опытно-фильтрационных работ преобладают лабораторные методы определения фильтрационных и других водно-физических свойств.

Удельный вес и значение гидрогеологических исследований и наблюдений возрастают при проведении инженерных изысканий в неблагоприятных для строительства условиях (районах развития оползней, карста, многолетней мерзлоты), а также при обосновании проектов строительства крупных и уникальных инженерных сооружений. В таких условиях может потребоваться проведение значительного объема полевых опытно-фильтрационных исследований (откачек, нагнетаний), бурение специальных гидрогеологических скважин, изучение режима уровней и химического состава подземных вод, выполнение опытно-исследовательских работ.

Общие положения проведения изысканий для различных видов строительства рассмотрены выше (см. § 1 настоящей главы). Как и при других видах строительства, проектирование промышленного и гражданского строительства осуществляется в две (проект и рабочая документация) или в одну (рабочий проект) стадии. Проектированию промышленных предприятий предшествует разработка проекта планировки и застройки промышленных районов или схемы генерального плана промышленного узла либо ТЭО. Для обоснования этих проектных документов обычно используются материалы ранее выполненных исследований с осуществлением в необходимых случаях рекогносцировочных работ с минимальным объемом разведочных выработок (одна-две выработки на каждом геоморфологическом элементе глубиной не более 30 м).

Для обоснования проекта и рабочей документации строительства промышленных и гражданских сооружений выполняются съемочные работы и инженерно-геологическая разведка с проведением основного комплекса исследований и опробования на стадии составления проекта (или рабочего проекта при одностадийном проектировании). Получаемая в результате проведения изысканий этой стадии информация должна быть достаточной для обоснования и принятия всех конструктивных решений, выбора методов проведения строительных работ и определения их сметной стоимости [10, 11]. В частности, гидрогеологическими исследованиями должны быть установлены: агрессивные и коррозионные свойства подземных вод по отношению к бетонным и металлическим частям сооружений, положение уровней грунтовых и нижележащих напорных вод, режим уровня и химического состава грунтовых вод и возможности его изменения в условиях строительства и эксплуатации проектируемых сооружений, фильтрационные и другие водно-физические свойства горных пород в зоне активного их взаимодействия с инженерными сооружениями, условия выполнения работ в строительных котлованах. При проектировании свайных оснований агрессивные свойства подземных вод должны быть изучены по всем горизонтам с учетом заглубления свай и т. д.

На стадии рабочей документации допускается проведение дополнительных исследований для уточнения гидрогеологических и инженерно-геологических условий в пределах зоны активного воздействия инженерных сооружений на горные породы в целях корректировки отдельных технических решений и обоснования необходимых строительных или защитных мероприятий (без существенного изменения сметной стоимости строительства в сторону ее увеличения).

Особого внимания заслуживают гидрогеологические исследования, выполняемые для обоснования проектирования и осуществления строительного водопонижения как мероприятия, обеспечивающего эффективное строительство различных инженерных сооружений в сложных гидрогеологических условиях (см. § 5 данной главы).

§ 5. Гидрогеологические исследования для целей строительного водопонижения

Искусственное понижение уровня подземных вод (водопонижение) широко применяется в гидротехническом, гражданском, промышленном и других видах строительства для обеспечения благоприятных и безопасных условий ведения строительных работ ниже уровня подземных вод (проходка котлованов, выемок, каналов, тоннелей, траншей и т. п.). При этом обеспечивается осушение водоносных пород в пределах строительных объектов (котлованов, траншей, каналов и др.), снятие избыточных гидростатических давлений нижележащих напорных горизонтов и предотвращение прорыва их вод в строительные выемки, устранение явлений разжижения пород, залегающих в основании сооружений, и их искусственное уплотнение.

В зависимости от времени и способов проведения строительных работ и сложности природных условий водопонижение осуществляется поверхностным, подземным или комбинированным способами одновременно с выполнением строительных работ (параллельное водопонижение) или перед их началом (предварительное водопонижение). В техническом отношении оно проводится с помощью различных водопонижительных и дренажных устройств (водопонижительных, поглощающих и разгрузочных скважин, эжекторных и иглофильтровых установок, сквозных и забивных фильтров, дренажных колодцев, лучевых водозаборов и др.) [2, 4, 5, 11].

При гидротехническом, промышленном и гражданском видах строительства наиболее часто применяется поверхностное водопонижение с помощью скважин, эжекторных и иглофильтровых установок. При этом водопонижительные скважины используются при необходимости обеспечения значительного понижения уровня подземных вод (5—20 м и более) в сравнительно высокопроницаемых породах (при коэффициентах фильтрации не ниже 0,5—3 м/сут) и значительной мощности обводненных отложений (не менее 5—10 м). В остальных случаях применяются эжекторные и легкие иглофильтровые установки, действие которых в условиях слабопроницаемых пород (при коэффициентах фильтрации менее 0,5—1 м/сут) усиливается применением вакуумирования и электроосушения [3, 10, 12]. Наиболее часто практикуются линейная и кольцевая схема расположения водопонижительных устройств (реже площадная).

Проект водопонижения является составной частью общего проекта строительства и разрабатывается в соответствии с генеральным планом и календарным графиком строительства. Принципиальные решения по применению той или иной схемы расположения водопонижительных устройств должны быть обоснованы специальными гидрогеологическими расчетами.

Обычно проекты строительного водопонижения разрабатываются в одну стадию — рабочий проект. В новых, еще не освоенных строительством районах, характеризующихся сложными гидрогео-

логическими условиями, проектирование водопонижения может осуществляться в две стадии: 1) проект со сводным сметным расчетом и 2) рабочая документация с уточненной сметой.

При одностадийном проектировании в рабочем проекте строительного водопонижения должны быть решены следующие задачи: 1) обоснованы необходимость и экономическая целесообразность водопонижительных мероприятий на данном строительном объекте, установлены размеры осушаемой территории, 2) разработаны принципиальные схемы расположения водопонижительных устройств, 3) проведены гидрогеологические расчеты, обосновывающие выбор того или иного варианта водопонижения с точки зрения эффекта осушения, 4) определена продолжительность формирования депрессионной воронки при водоотливе, 5) разработаны конструкции водопонижительных устройств с выбором необходимого их оборудования и способа осуществления; 6) определена общая стоимость и технико-экономические показатели осуществления строительного водопонижения, 7) разработан график осуществления водопонижения, увязанный с графиком общестроительных работ. Составленный технорабочий проект строительного водопонижения должен включать пояснительную записку с экономической частью, смету и чертежи, отражающие природные условия участка и района и конструкции проектируемых водопонижительных устройств.

При двухстадийном проектировании все основные задачи решаются на стадии проекта. На стадии рабочей документации осуществляется уточнение проекта водопонижения в связи с получением дополнительных данных по изысканиям или изменением условий строительства.

Для составления проектов водопонижения и их обоснования осуществляется комплекс изысканий, состав и объем которых устанавливаются в зависимости от сложности и степени изученности природных условий, характера водопонижения, стадии проектирования и требований технического задания на проведение изысканий.

Порядок подготовки и проведения изысканий аналогичен установленному для изысканий под строительство (см. § 1 настоящей главы). Независимо от стадии проектирования изыскания начинаются с изучения фондовых материалов и опыта осуществления водопонижения в аналогичных условиях.

Обычно комплекс изысканий для обоснования проектов строительного водопонижения включает проведение рекогносцировочного обследования и съемки (в зависимости от степени изученности комплексной или только гидрогеологической), разведочного бурения, опытно-фильтрационных и лабораторных работ, стационарных гидрогеологических наблюдений. В достаточно изученных районах съемочные работы могут не проводиться. Основной объем изысканий выполняется на стадии обоснования проекта. Для обоснования рабочей документации выполняются дополнительные изыскания, проведение которых вызывается необходимостью уточнений и де-

тализации условий осуществления водопонижения, недостаточно освещенных предыдущими исследованиями.

В результате проведения гидрогеологических исследований должны быть получены данные, обеспечивающие обоснованное представление о природных условиях района водопонижения в виде фильтрационной расчетной схемы, используемой при прогнозных расчетах и обосновании строительного водопонижения. В частности, должны быть установлены размеры области фильтрации, ее границы в плане и в разрезе, выполняющиеся на них граничные условия, фильтрационные свойства основных водоносных горизонтов, подлежащих осушению и гидравлически с ними взаимосвязанных, условия обводнения строительной площадки и их возможные изменения во времени, степень активности гидравлической взаимосвязи горизонтов подземных вод между собой и с поверхностными водами, возможные дебиты дренажных сооружений, их взаимодействие и т. д.

Кроме того, должен быть изучен режим подземных вод осушаемых горизонтов, вопросы устойчивости бортов строительных котлованов, агрессивные и коррозионные свойства подземных вод, условия их сброса или использования и другие показатели и факторы, определяющие выбор системы водопонижения и условия ее осуществления.

При проведении изысканий для целей водопонижения выполняется значительный объем горно-буровых работ (зондировочные, разведочные, опытные и наблюдательные скважины, шурфы, каналы). При этом разведочные и другие выработки размещают обычно по профилям, что обеспечивает получение представительных геологических разрезов по наиболее характерным направлениям. Количество, глубина выработок и расстояние между ними в поперечнике устанавливаются в зависимости от сложности геолого-гидрогеологических условий и размеров изучаемого участка и зоны водопонижения (обычно на поперечнике закладывается не менее 3 скважин).

Большое внимание уделяется проведению опытно-фильтрационных работ, которые обеспечивают не только получение информации для определения расчетных гидрогеологических параметров, но и подтверждение принципиальной возможности снижения уровня подземных вод ниже подошвы котлована. Для этой цели закладываются опытные гидрогеологические кусты и сеть специальных наблюдательных скважин (обычно по лучам на дренируемый и гидравлически связанные с ним водоносные горизонты), которые используются для наблюдений за развитием депрессии в пространстве и во времени в период откачек и дают представление о возможном осушительном эффекте водопонижения и его влияния на прилегающие территории. Опытные откачки желательно проводить на 2—3 ступени понижения для получения кривых дебита для водопонижительных скважин. Документация опытно-фильтрационных работ осуществляется в соответствии с методикой, изложенной в гл. IV,

§ 3. В сложных условиях и при проектировании крупного водопонижения целесообразно проведение групповой (из 2—5 скважин) откачки с обеспечением понижения уровня подземных вод, близкого к проектному, и осуществлением наблюдений по всем скважинам. Сеть наблюдательных скважин целесообразно размещать таким образом, чтобы основная их часть использовалась в дальнейшем в качестве наблюдательных пунктов режимной сети в период осуществления строительства инженерных сооружений и их последующей эксплуатации.

Из опыта осуществления водопонижения при защите котлованов, Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС и Каховской ГЭС следует, что зона влияния строительного водопонижения может достигать нескольких километров при глубине депрессионной воронки до 30—40 м. При этом нередко осуществляется дренирование нескольких водоносных горизонтов.

Для несовершенных котлованов, вскрывающих первый от поверхности водоносный горизонт (обычно аллювиальный), площадь участка, подлежащего изучению, обычно невелика и определяется радиусом депрессионной воронки в 1,5—2 км, глубина скважин зависит от мощности аллювия, а количество скважин и откачек — от сложности гидрогеологических условий, размеров котлована и других факторов [4, 5, 12]. Исходя из опыта построенных гидроэлектростанций на р. Волге, Каме, Дону, в аллювиальных отложениях по линии водоотлива на каждые 150—200 пог. м его длины проводятся в среднем две-три одиночных и одна кустовая откачки, а по вертикали по одной откачке на каждые 15—20 м мощности водоносного слоя.

В котлованах, врезающихся в дочетвертичные породы, содержащие водоносные горизонты, напоры которых влияют на устойчивость дна и откосов котлована, горизонты должны быть изучены каждый в отдельности. В среднем в каждом водоносном горизонте выполняется по 1—2 одиночной или 1 кустовой откачке на каждые 200—300 пог. м контура котлована.

Объем изысканий в период строительства водопонижительных скважин может достигать 15—20% от объема изысканий на стадии рабочей документации. В этот объем входит также документация бурения и оборудования скважин водопонижения [2, 4, 12].

ГЛАВА XVI

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ПОДЗЕМНЫМ ЗАХОРОНЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ

Интенсивное развитие народного хозяйства страны и особенно промышленности (химической, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, энергетической, атомной, металлургической и др.) ста-

вит на повестку дня проблему утилизации жидких промышленных отходов (промышленных стоков). Значение и актуальность решения проблемы утилизации промышленных стоков (многие из которых являются токсичными) существенно возрастают в связи с важностью и необходимостью обеспечения охраны природы и ее водных ресурсов от загрязнения.

Качественно новый подход к проблеме охраны природы и ее ресурсов, вытекающий из решений партии и правительства по вопросам экологии, требует поисков и обоснования наиболее прогрессивных и эффективных путей решения проблемы утилизации промышленных стоков, обеспечивающих условия рационального использования и охраны от порчи и загрязнения водных и других природных ресурсов [1, 4, 5].

В настоящее время решение этой проблемы осуществляется по двум направлениям: 1) совершенствование технологии производственных процессов с обеспечением комплексной переработки промышленных стоков, с разработкой замкнутых систем водопользования или существенным уменьшением промышленных сточных вод (особенно токсичных); 2) применение наиболее совершенных способов удаления промстоков.

Наиболее практикуемыми способами удаления промстоков являются: 1) сброс их после предварительного обезвреживания в поверхностные водотоки и водоемы, в том числе и в морские, 2) сбор промстоков в накопителях с последующим сбросом в поверхностные водотоки во время паводков, 3) естественное выпаривание промстоков в испарительных бассейнах в районах с аридным климатом, 4) закачка промстоков в водоносные горизонты (подземное захоронение).

Два первых способа применяются для удаления нетоксичных промстоков, два последних — для удаления как токсичных, так и нетоксичных промстоков.

В СССР и других странах имеется большой опыт успешного сброса в глубокие водоносные горизонты попутных нефтяных вод и сточных вод нефтеперерабатывающей промышленности широко используется закачка этих вод для заводнения эксплуатируемых нефтяных месторождений, начинает практиковаться подземное захоронение токсичных и нетоксичных сточных вод промышленности [4—8]. Однако многие вопросы подземного захоронения промстоков в водоносные горизонты еще только начинают разрабатываться, недостаточно совершенна и методика гидрогеологического обоснования такого захоронения. В частности, недостаточно изучены и разработаны вопросы совместимости и физико-химического взаимодействия промстоков и подземных вод, методы прогноза и контроля загрязнения водоносных горизонтов, методика поисково-разведочных работ для обоснования захоронения промстоков и прогноза условий работы нагнетательных скважин, вопросы эксплуатации систем захоронения промстоков.

§ 1. Требования, предъявляемые к выбору поглощающих горизонтов для захоронения промышленных стоков

Успешное осуществление подземного захоронения промстоков зависит в первую очередь от наличия в районе предполагаемого захоронения поглощающих горизонтов (коллекторов), отвечающих определенным требованиям, предъявляемым к объектам закачки промышленных сточных вод. Эти требования в настоящее время еще не унифицированы и в значительной мере зависят от типа подлежащих сбросу сточных вод, их токсичности, минерализации, химического состава, масштабов закачки, длительности захоронения и других факторов [4—8]. Для захоронения промстоков допускается использование поглощающих горизонтов, заключающих подземные воды, непригодные для хозяйственно-питьевых нужд и не представляющие интереса в промышленном и лечебном отношении. В соответствии с действующим водным законодательством использование объекта для сброса сточных вод допустимо при наличии разрешения органов по регулированию и охране водных ресурсов и согласования с органами государственного санитарного надзора и другими заинтересованными организациями. Сброс нетоксичных промстоков в другие водоносные горизонты может быть допущен только при условии соответствующей их очистки до пределов, исключающих загрязнение водных объектов свыше установленных норм.

Поглощающие горизонты, выбираемые в качестве объектов для сброса промстоков, должны обладать значительной емкостью и водопроницаемостью (желательно и фильтрационной однородностью) и вместе с тем быть достаточно надежно изолированными от водоносных горизонтов, заключающих воды, пригодные для народнохозяйственного использования (хозяйственно-питьевого, производственно-технического, лечебного, промышленного). Сброс промстоков в неполностью водонасыщенные пласты и горизонты, находящиеся в зоне активного водообмена или гидравлически связанные с продуктивными водоносными горизонтами, как правило, недопустим.

Как показывают опыт сброса сточных вод в глубокие горизонты и результаты районирования территории СССР по условиям подземного захоронения промстоков, сравнительно благоприятные условия для подземного захоронения промстоков имеются в областях платформ и пологой складчатости при развитии мощных толщ осадочных пород, заключающих регионально выдержанные водоносные горизонты, перекрытые мощными толщами непроницаемых пород.

Надежно изолированные поглощающие горизонты обычно приурочены к зоне затрудненного водообмена и залегают чаще на глубинах в несколько сотен метров от поверхности, нередко на глубине 1000—2000 м и более.

Области развития сильно дислоцированных пород, особенно

при наличии разрывов и интенсивной трещиноватости, для подземного сброса промышленных стоков неблагоприятны вследствие локального распространения водоносных горизонтов и недостаточной надежности изолирующих водоупоров.

Наиболее перспективны для сброса промстоков мощные горизонты песчаников и песков, а также карстовые и кавернозные горизонты в карбонатных породах. Однако на значительной глубине их проницаемость заметно уменьшается, и это нередко ухудшает условия захоронения сточных вод, особенно в большом количестве.

Проницаемость пористых песчаников на глубине порядка сотых и десятых долей дарси; песков — до 1—2, иногда более 3 дарси. Приемистость скважин обычно составляет 300—1000 м³/сут. Карбонатные трещиноватые коллекторы характеризуются более высокой проницаемостью и приемистостью вскрывающих их скважин (от 2000 до 10 000 м³/сут).

Большое значение для подземного сброса могут иметь районы разведанных и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений вследствие детальной изученности глубоких горизонтов и возможности использования ранее пробуренных скважин. Кроме того, в отдельных районах возможно использование промышленных стоков для искусственного заводнения нефтяных пластов.

Подземный сброс небольших объемов токсичных стоков может быть осуществлен в искусственно созданные подземные емкости, например в районах распространения мощных соленосных отложений (см. гл. XVIII).

При выборе объектов для захоронения промстоков следует также учитывать токсичность и химический состав стоков, масштабы их захоронения, соотношение плотностей промстоков и подземных вод и другие факторы [1, 4—8].

Захоронение токсичных промстоков, заключающих радиоактивные элементы с периодом полураспада более 50—100 лет, допустимо только в полностью изолированные водоносные горизонты с замещением ими вытесняемых пластовых вод. Захоронение промстоков, содержащих минеральные и органические токсичные вещества, а также радиоактивные элементы с периодом полураспада до 50 лет, возможно только в глубокие водоносные горизонты, воды которых непригодны для народнохозяйственного использования. Закачка такого состава промстоков может быть разрешена на площадях, надежно изолированных водоупорами от выше- и нижерасположенных водоносных горизонтов.

Сброс нетоксичных промстоков (воды пресные, соленые и др.) возможен в горизонты, заключающие непригодные или еще неиспользуемые в данное время водоносные горизонты. Это может привести к увеличению их потенциальных водных ресурсов и повышению перспектив их использования в будущем.

Для технологической закачки допустимо использование только нетоксичных промстоков.

Переток вод из поглощающего в смежные водоносные горизонты допустим при соблюдении условия, что таковой не влечет за собой существенного снижения природных качеств ценных в народнохозяйственном отношении подземных вод.

По сроку осуществления подземное захоронение промстоков может быть кратковременным (до 5 лет) и длительным, что важно учитывать при выборе поглощающих горизонтов соответствующей емкости. Обычно объемы закачки колеблются в широких пределах. Так, промстоки с мелких предприятий пищевой или химической промышленности обычно не превышают 100—1000 м³/сут, в то время как на предприятиях нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, а также на объектах промышленной переработки подземных вод суточные объемы сточных вод могут составлять десятки тысяч кубических метров и более.

Закачка промстоков в водоносные горизонты в промышленных масштабах осуществима при условии длительного сохранения приемистости нагнетательных скважин. Снижение приемистости происходит главным образом из-за коагуляции поровотрещинного пространства в призабойной части скважин нерастворимой взвесью и в результате физико-химического взаимодействия промстоков с подземными водами и водовмещающими породами. В этом плане определенные требования предъявляются и к отдельным показателям качества промстоков (содержание механических примесей, кислотность, наличие окислителей и др.).

Для предотвращения быстрого снижения приемистости нагнетательных скважин проводится подготовка промстоков к закачке. Технология подготовки зависит от содержания и состава нерастворимой взвеси в стоках, от общей минерализации и состава растворенных солей и газов, а также от особенностей физико-химических условий в поглощающем горизонте и структуры поровотрещинного пространства водовмещающих пород.

Твердая нерастворимая взвесь из сточных вод удаляется с помощью отстойников, жидкие нерастворимые примеси улавливаются в ловушках и т. д. Для достижения совместимости с пластовыми водами промстоки подвергаются сложной обработке. Так, для удаления из сточных вод растворенного кислорода применяется продувка инертными газами (азот). Желательно, чтобы закачиваемые и пластовые воды имели одинаковые рН. Для этого сточные воды подкисляют или подщелачивают [4, 7].

Целесообразность и экономическая эффективность подземного захоронения промстоков устанавливаются на основе сопоставления технико-экономических показателей по всем возможным вариантам их утилизации. Анализ опыта закачки сточных вод в водоносные горизонты свидетельствует о том, что при глубине залегания поглощающих горизонтов 1000—2000 м и приемистости нагнетательных скважин 500—1000 м³/сут себестоимость подземного захоронения 1 м³ промстоков составляет 0,25—0,9 руб. Отмеченные общие положения и особенности выбора объектов для подземного захоро-

нения промстоков следует учитывать при проведении гидрогеологических исследований для обоснования проектов сброса сточных вод в горизонты подземных вод.

§ 2. Задачи и методы гидрогеологических исследований для обоснования подземного захоронения сточных вод

В каждом конкретном случае для обоснования возможности, целесообразности и условий подземного захоронения промстоков должен выполняться комплекс гидрогеологических и других видов исследований, обеспечивающих эффективное решение задач по захоронению промстоков и охране подземных вод от загрязнения.

Гидрогеологические исследования обоснования подземного захоронения промстоков должны планироваться и осуществляться на основе районирования территории по условиям подземного захоронения сточных вод. Это во многом способствует более целенаправленному и эффективному их проведению.

Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промстоков проводятся в несколько стадий: 1) предварительная оценка возможностей подземного захоронения промстоков; 2) поиски; 3) предварительная разведка; 4) детальная разведка. Кроме того, гидрогеологические исследования проводят при опытно-промышленной закачке и эксплуатации полигонов захоронения промстоков, что следует относить к стадии эксплуатационной разведки.

Общие задачи исследований: оценка возможности подземного захоронения промстоков; выявление возможных коллекторов и участков для сооружения полигонов захоронения; изучение геолого-гидрогеологических условий выявленных коллекторов и участков с целью определения гидрогеологических и других параметров, необходимых для прогнозных оценок и проектирования полигонов захоронения промстоков.

На стадии предварительной оценки выясняется принципиальная возможность захоронения промстоков в глубокие горизонты и дается обоснование дальнейших гидрогеологических исследований. Для этого выполняется целенаправленный сбор и анализ всех имеющихся материалов по геологии, тектонике, стратиграфии и гидрогеологии района, особенно материалов региональных исследований (в том числе съемок, геофизических и буровых работ, материалов гидрогеологического районирования и региональной оценки условий захоронения промстоков и т. д.); выявляются возможные для захоронения промстоков горизонты и их характеристики (глубина, состав, мощность, фильтрационные свойства, возможная приемистость скважин, содержащиеся воды), наличие месторождений подземных вод и твердых полезных ископаемых и другие сведения, необходимые для составления заключения о возможности подземного захоронения промстоков. От заинтересованной организации должны быть получены сведения о количестве и составе промсто-

ков, обоснование невозможности или неэкономичности их очистки или применения других методов их утилизации. При достаточной изученности района на этой стадии могут быть получены материалы, исключающие необходимость проведения поисков, а иногда и предварительной разведки.

Поисковые работы выполняются в перспективных для подземного захоронения промстоков районах, геолого-гидрогеологическая изученность которых недостаточна для выделения и характеристики перспективных пластов-коллекторов. Основная их цель — выявление перспективных горизонтов-коллекторов и получение необходимых характеристик (условия залегания, распространения, емкость, изолированность, фильтрационные свойства, характер внешних и внутренних границ и ориентировочные граничные условия). Для этой цели помимо анализа литературных и фондовых материалов проводится специальное обследование района, бурение поисковых скважин и их опробование. Обычно в пределах предварительно намеченных участков бурят одну-три скважины с учетом необходимости вскрытия и опробования наиболее глубоких из перспективных по общим геолого-гидрогеологическим условиям горизонтов (на участках плохой изученности проводят опережающие сейсмо-и электроразведочные работы). Скважины бурят с полным отбором керна для проведения литологических, минералогических, гранулометрических, палеонтологических и других исследований и лабораторного изучения водно-физических свойств водоупоров и коллекторов (в том числе проницаемости и активной пористости).

В процессе бурения скважин выполняют необходимый комплекс гидрогеологических наблюдений (см. гл. III, § 3), а по завершении бурения — в каждой скважине проводится полный комплекс каротажных работ (стандартный каротаж, боковое каротажное зондирование, микрозондирование, радиоактивный каротаж, цементировка, термометрия, кавернометрия, инклинометрия и др.) для уточнения гидрогеологического расчленения разреза. В каждой скважине производится последовательное (начиная снизу) опробование путем откачек и нагнетаний по возможности всех водоносных горизонтов, расположенных ниже зоны активного водообмена, с отбором проб воды для химических анализов и определения абсолютного возраста воды.

В результате поисков выбирается один или несколько водоносных горизонтов и участков, перспективных для захоронения в них промстоков и нуждающихся в дальнейшем изучении. В районах с простыми геолого-гидрогеологическими условиями (древние и молодые платформы с наличием хорошо выдержанных в плане и в разрезе водоносных и водоупорных горизонтов и комплексов) при достаточной их изученности после поисков возможен переход к детальной разведке.

В условиях краевых прогибов и межгорных впадин, в районах развития тектонических нарушений, соляной тектоники и невыдер-

жанных в литологическом отношении коллекторов и водоупоров обязательна предварительная разведка. Она выполняется на перспективных для захоронения промстоков участках и горизонтах и предусматривает решение следующих основных задач: 1) изучение геолого-литологических, структурных и гидрогеологических условий перспективных для захоронения горизонтов с получением параметров и характеристик, определяющих условия захоронения промстоков; 2) сравнительная характеристика горизонтов-коллекторов и выбор наиболее перспективных горизонтов и участков для размещения полигона подземного захоронения промстоков; 3) технико-экономическое обоснование условий сброса промстоков по основным перспективным вариантам и рекомендация наиболее оптимального из них; 4) обоснование рациональной схемы размещения поглощающих скважин на участке, рекомендуемом для детальных разведочных работ.

При наличии нескольких участков, выделенных на стадии поисков (или предварительной оценки), предварительную разведку вначале проводят на ближайших к предприятию участках, а в случае получения отрицательных результатов — на более удаленных. В процессе предварительной разведки изучению подвергается территория, в пределах которой будут распространяться закачиваемые промстоки, а под действием их закачки будут нарушены естественные гидродинамические условия, в результате чего возможно отжатие минерализованных пластовых вод в другие горизонты, используемые для питьевых, лечебных и других целей, или на поверхность. Ориентировочно размеры территории предварительной разведки определяются приведенным радиусом влияния ($R_i = 1,5 \sqrt{V \cdot at}$), составляющим порядка 30—50 км (на таком расстоянии от поглощающих скважин должны быть изучены границы пласта-коллектора и установлены их граничные условия). Особое внимание следует обращать на наличие в пределах этой зоны скрытых границ пласта, тектонических нарушений, гидрогеологических окон, неликвидированных горных выработок и скважин, глубину вреза речных долин и т. д.

Для сопоставительной оценки по каждому из перспективных для подземного захоронения промстоков поглощающих горизонтов должны быть получены сведения об их литолого-структурных особенностях, распространении, степени изолированности и гидрогеологических параметрах (пластовые давления и напоры, эффективная мощность и пористость, коэффициенты проницаемости, фильтрации и пьезопроводности, приемистость скважин), о химическом составе подземных вод.

Для решения задач предварительной разведки выполняется комплекс исследований, включающий анализ ранее выполненных исследований, геолого-гидрогеологическую съемку, геофизические и опытно-фильтрационные работы, лабораторные исследования и камеральные работы.

При изучении материалов ранее выполненных работ особое

внимание уделяется анализу региональных исследований, обеспечивающих выяснение геологической истории района, его тектоники, условий развития водоносных и водоупорных толщ, формирования и взаимосвязи водоносных горизонтов, их распространения и граничных условий.

Геолого-гидрогеологическая съемка проводится вдоль границ пласта-коллектора в пределах площади, ограниченной приведенным радиусом влияния (изучаются контакты пласта-коллектора с другими породами, состав и характер контактирующих пород, их пористость, трещиноватость, нарушенность, водоносность и т. д.), обычно в комплексе с площадными геофизическими исследованиями (электроразведкой и гравиразведкой). Последние особенно эффективны для изучения скрытых границ и контактов. Для выявления взаимосвязи глубоких горизонтов с водоносными горизонтами зоны активного водообмена целесообразно проведение гелиевой съемки.

Основными видами работ этой стадии являются бурение и опробование скважин, что обеспечивает непосредственное изучение водоупоров и коллекторов, их мощностей, состава и свойств (особенно фильтрационных и емкостных) содержащихся в них вод, приемистости скважин, характера границ и граничных условий. Скважины бурят с частичным отбором керна (из пласта-коллектора, перекрывающего водоупора, смежных водоносных горизонтов, интервалов, не охарактеризованных на стадии поисков), в них выполняется полный комплекс каротажных исследований (особенно важна расходометрия).

Расчетные гидрогеологические параметры перспективных горизонтов (коэффициенты водопроницаемости, пьезопроводности, пористости и др.) определяют на основе ОФР — кустовых откачек и нагнетаний. При этом следует стремиться к опробованию всех перспективных горизонтов на одном опытном кусте. При возможности перетекания пластовых вод в смежные горизонты обязательно определение параметров этих горизонтов. В отдельных случаях для изучения граничных условий целесообразно проведение откачки из куста скважин с двумя наблюдательными скважинами на луче, направленном к границе.

Предварительное пробное нагнетание в одиночные скважины выполняется с целью изучения сравнительной характеристики приемистости пластов-коллекторов, а также обоснования выбора конструкции фильтров.

После завершения опытных работ и восстановления естественных условий во всех скважинах замеряется статический уровень водоносного горизонта (с учетом плотности и температуры воды в скважинах) в целях последующего построения карты гидроизопьез и определения направления и скорости движения подземных вод.

При наличии сложных гидрогеологических условий целесообразно осуществлять разведочное и имитационное моделирование

процесса закачки промстоков с выявлением ведущих факторов, определяющих условия захоронения и обоснованием направлений и оптимального состава дальнейших исследований.

В отчетных материалах приводятся основные результаты выполненных исследований и дается обоснованное заключение о выборе пласта-коллектора, рациональной схемы размещения поглощающих скважин и направлении дальнейших исследований. Совместно с проектной организацией составляется технико-экономическое обоснование захоронения промстоков и предварительный выбор технологической схемы нагнетания.

После анализа заинтересованными организациями результатов предварительной стадии исследований, утверждения проектных соображений, выбора рабочего пласта-коллектора, а также технологической схемы нагнетания приступают к стадии детальных исследований.

Детальная разведка поглощающих горизонтов проводится с целью детального изучения геолого-гидрогеологических условий, намеченных по результатам предшествующих работ, поглощающих горизонтов и определения основных гидрогеологических характеристик и параметров этих горизонтов для гидрогеологического обоснования технического проекта осуществления подземного захоронения промстоков. В комплекс исследований этой стадии входят буровые, геофизические, опытно-фильтрационные, лабораторные, полевые опытные и камеральные работы.

Детальная разведка проводится как в пределах полигона захоронения (в соответствии с намеченной ранее схемой размещения поглощающих и разгрузочных скважин), так и в пределах возможной площади распространения промстоков при закачке, радиус которой определяется ориентировочно с учетом параметров пласта-коллектора, объема Q_2 и расчетной длительности захоронения промстоков t по формуле $R = \sqrt{(Q_2 t) / (\pi m n)}$ (здесь m и n — соответственно мощность и пористость пласта-коллектора). Особое внимание в пределах этой зоны уделяется изучению фильтрационной и емкостной неоднородности пласта-коллектора, надежности перекрывающего водоупора, имеющих тектонических нарушений и гидрогеологических окон и т. д.

Буровые работы заключаются в бурении разведочных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, размещаемых на площади детальной разведки применительно к намеченной схеме подземного захоронения промстоков. Результаты бурения используются для детализации представлений о геолого-гидрогеологических условиях основных поглощающих и соседних с ними в разрезе водоносных горизонтов. Количество разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин в зависимости от сложности изучаемых объектов может составлять 50% и более от числа проектируемых для осуществления захоронения нагнетательных скважин. Минимальное количество скважин при детальной разведке в простых природных условиях и при небольшом объеме промсто-

ков определяется необходимостью достоверной оценки параметров пласта-коллектора и насчитывает три скважины. Для получения необходимой информации следует стремиться к использованию всех имеющихся в пределах полигона скважин. Разведочные скважины желательно задавать в местах эксплуатационных, учитывая соответствующие требования к их конструкции.

Во всех скважинах с целью более детального геолого-литологического и гидрогеологического расчленения их разреза, установления предварительной и сопоставительной оценки коллекторских свойств, контроля их технического состояния и решения других задач выполняются разведочные геофизические работы (каротажи, резистивиметрия, кавернометрия и др.).

Для определения расчетных гидрогеологических параметров выполняются опытные откачки и нагнетания (как правило, кустовые при двух-трех наблюдательных скважинах в кусте). Проведению опытно-фильтрационных работ предшествует освоение скважин с целью очистки их призабойных зон от глинистого раствора и бурового шлама, повышения проницаемости пласта и восстановления первоначальной производительности скважин. В зависимости от конкретных условий применяют интенсивные прокачки, промывки, нагнетания, кислотную обработку, торпедирование, гидроразрыв и другие способы (см. гл. X, § 5). Для сброса извлекаемых при откачках минерализованных подземных вод сооружаются временные пруды-накопители, вода из которых используется затем для опытных нагнетаний.

Лабораторными методами определяются проницаемость и активная пористость пород пласта и водоупоров, изучаются процессы их взаимодействия с промстоками, химический состав и свойства подземных вод и промстоков, условия очистки и обезвреживания сточных вод, миграционная способность загрязнений и т. п.

Для определения приемистости нагнетательных скважин, возможного режима их работы и получения других технологических характеристик выполняются опытные закачки в скважины промстоков или имитирующих их жидкостей.

В результате камеральной обработки материалов исследований уточняются расчеты по обоснованию и прогнозу условий подземного захоронения промстоков по рекомендуемой для практического внедрения схеме их закачки в поглощающие горизонты, расчетами обосновываются технические характеристики сооружений по транспортировке промстоков, их подготовке и закачке в скважины. Обычно в результате гидрогеологических расчетов дается прогноз изменения во времени давления на устьях нагнетательных скважин при обоснованной по технико-экономическим и другим соображениям схеме их размещения и заданной производительности нагнетательного полигона (принимается в соответствии с масштабами захоронения). Величину давления определяют с учетом необходимости преодоления всех видов сопротивлений в нагнетательных

скважинах (избыточные давления подземных вод, сопротивление движению стоков по стволу скважины, через фильтр и за счет ее несовершенства) и в поглощающем пласте (давление на преодоление внешнего фильтрационного сопротивления). При необходимости выполняются расчеты по прогнозу продвижения в пласте захороненных промстоков, миграции загрязнений, поступлению пластовых вод в вышележащие водоносные горизонты и на этой основе даются рекомендации по установлению поясов санитарно-защитной зоны и проведению мероприятий по охране окружающей среды [1, 4, 5].

В сложных гидрогеологических и гидрогеохимических условиях для решения задач гидрогеологического обоснования подземного захоронения промстоков применяются моделирование и работы по опытно-промышленной закачке сточных вод, что выполняется уже в рамках эксплуатационной разведки.

Опытно-промышленная закачка промстоков в водоносные горизонты выполняется для гидрогеологического обоснования длительного захоронения значительных объемов промстоков и особенно в сложных гидрогеологических и гидрогеохимических условиях. При проектировании сооружений для кратковременной закачки промстоков работы по опытно-промышленной закачке, как правило, не проводятся, так как их продолжительность в ряде случаев может быть сопоставимой с продолжительностью эксплуатации сбросных сооружений.

В задачи опытно-промышленной закачки входит уточнение технических характеристик сооружений по закачке промстоков и изучение характера распространения их в водоносном горизонте в реальных условиях их захоронения.

Опытно-промышленная закачка начинается с нагнетания промстоков в одиночные разведочно-эксплуатационные скважины. При этом систематически замеряются расход и температура нагнетаемых сточных вод в каждую скважину, устьевое давление на нагнетательных скважинах. На выходе из очистных сооружений и на устьях нагнетательных скважин систематически отбираются пробы закачиваемых промстоков для определения содержания в них нерастворимой взвеси, характерных компонентов, обуславливающих несовместимость промстоков с пластовыми водами и водовмещающими породами, плотности и pH. Во время планируемых и вынужденных остановок в нагнетании промстоков снимаются диаграммы восстановления забойного (устьевого) давления. При обработке данных перечисленных наблюдений строятся графики изменения забойного давления, общей и удельной приемистости нагнетательных скважин по времени, графики изменения удельной приемистости скважин в зависимости от количества закачанной в них нерастворимой взвеси и т. д.

В процессе опытно-промышленной закачки совершенствуется технология подготовки (очистки) промстоков к закачке, опробуются способы восстановления приемистости нагнетательных скважин

и их эффективность в условиях закачки данного типа отходов производства.

Анализ результатов экспериментальных работ и гидрогеологических наблюдений, выполняемых при проведении опытно-промышленной закачки, позволяет окончательно установить состав и технические характеристики сооружений по подготовке и нагнетанию жидкостей в водоносный горизонт, определить основные технологические приемы их эксплуатации.

Для наблюдений за продвижением промстоков в водоносном горизонте используются все существующие и бурятся специальные наблюдательные скважины. Исследуемые объекты и количество контрольных скважин зависят от токсичности, физико-химических свойств и объемов закачки захороняемых жидкостей, от особенностей геологического строения и гидрогеологических условий района работ.

При захоронении радиоактивных и весьма ядовитых отходов производства наблюдения ведутся за поглощающим и смежными водоносными горизонтами. Если промстоки легче пластовых вод, то основное внимание уделяется наблюдениям за возможными перетоками их в вышележащие водоносные горизонты и за путями их продвижения в верхней части поглощающего горизонта. Если же они тяжелее пластовых вод, то наблюдения ведутся как за выше-, так и за нижележащими и поглощающим горизонтами.

При сбросе нетоксичных промстоков наблюдения ведутся главным образом за их продвижением по поглощающему горизонту. При определении интервалов вскрытия водоносных пород поглощающего горизонта руководствуются также соотношением плотностей сточных жидкостей и пластовых вод. На выше- и нижележащие водоносные горизонты в таких случаях бурится, как правило, незначительное число наблюдательных скважин.

Наблюдения за продвижением радиоактивных промстоков в поглощающем горизонте ведутся геофизическими методами (гамма-каротаж, резистивиметрия и т. д.) в скважинах. Продвижение нерадиоактивных промстоков в поглощающих горизонтах устанавливается по данным химических анализов проб воды, отбираемых из наблюдательных скважин. Химическими анализами определяют общую минерализацию воды и содержание компонентов, маркирующих сбрасываемые жидкости.

Таким образом проблема захоронения промстоков должна решаться на практически, теоретически и экспериментально обоснованных положениях и прежде всего, на основе детального анализа геологического строения, геоструктурных особенностей и гидрогеологических условий тех площадей, в пределах которых проектируется проводить закачку промстоков.

Для решения проблемы закачки промстоков в водоносные горизонты первоочередными задачами, дальнейших научно-исследовательских работ являются: 1) изучение самоочистки их в пластовых условиях, 2) разработка методики изучения и оценка надежности

водоупоров, 3) разработка методов расчета работы инженерных сооружений по закачке промстоков, 4) дальнейшее совершенствование технологии подготовки промстоков к закачке.

ГЛАВА XVII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С СОЗДАНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОНЕФТЕХРАНИЛИЩ

В пятидесятые годы текущего столетия широкое распространение получил подземный способ хранения нефтепродуктов и газов. Наиболее интенсивный рост количества и объемов подземных хранилищ в СССР и других промышленно развитых странах приходится на последние десятилетия. Это объясняется очевидными преимуществами подземных емкостей перед наземными резервуарами. При подземном способе хранения уменьшаются капиталовложения в строительство и эксплуатационные расходы, снижается металлоемкость и пожароопасность, требуются значительно меньшие земельные участки, уменьшается опасность загрязнения нефтепродуктами земной поверхности и подземных вод.

Подземное хранение углеводородов развивается в настоящее время в двух направлениях: 1) хранение природного газа в истощенных нефтяных и газовых месторождениях, а также в водоносных пластах, 2) хранение нефти, нефтепродуктов, природного и сжиженных газов в полостях, искусственно создаваемых в толщах практически непроницаемых пород.

В данной главе рассмотрены некоторые особенности геолого-гидрогеологических исследований, выполняемых для обоснования проектирования различных типов подземных емкостей, за исключением хранилищ газа в истощенных месторождениях. Это объясняется тем, что степень геологической и гидрогеологической изученности указанных объектов не требует постановки дополнительных разведочных работ для проектирования хранилищ.

§ 1. Геологическое строение и гидрогеологические условия участков, пригодных для строительства подземных хранилищ

Основная цель геолого-гидрогеологических исследований при проектировании подземных хранилищ — выявление участков, геологическое строение и гидрогеологические условия которых отвечают определенным требованиям для каждого типа подземных емкостей.

При хранении природного газа в водоносных пластах собственно емкостью является поровое пространство пород. Принципиальная возможность создания хранилищ этого типа заключается в том, что газ легче подземных вод и плохо растворяется в них. Для

хранения используются замкнутые положительные геологические структуры, образованные пористыми, хорошо проницаемыми породами и перекрытые толщей водоупорных пород. Положительная структура позволяет искусственно создавать «газовую шапку» в водоносном пласте, а ее замкнутость не допускает горизонтального распространения газа (рис. 54). Движению газа в вертикальном направлении препятствует перекрывающая водоупорная толща, которая в данном случае выполняет роль крышки (газоупора) подземного хранилища. Такая крышка должна иметь сплошное распространение на участке положительной структуры.

Для нормального функционирования хранилища пористость водоносных пород должна быть не менее 10%, а проницаемость — не менее 0,3 дарси. Желательно, чтобы водоносные породы были цементированы. Такое требование вызвано тем, что при отборе газа из рыхлых коллекторов происходит вынос песчаных фракций. Это ведет к преждевременному выходу из строя эксплуатационных скважин и значительно удорожает очистку газа перед выдачей его потребителю.

Газохранилища в водоносных пластах располагают обычно на глубинах свыше 300 м. Воды выбранных горизонтов должны быть непригодными к использованию в народном хозяйстве [2, 3, 6].

На совершенно ином принципе основан способ хранения нефти, нефтепродуктов, природного и сжиженного газа в искусственно создаваемых подземных полостях. Здесь емкостью для хранимых продуктов служат искусственные пустоты в толщах плотных, практически непроницаемых горных пород. Такие хранилища разделяются на типы по способу их сооружения. В настоящее время наиболее распространены емкости, создаваемые подземным растворением в отложениях каменной соли и горным способом в различных по литологическим особенностям водоупорных толщах пород.

В пластах и залежах каменной соли мощностью свыше 20 м подземные емкости сооружаются через вертикальные скважины на глубинах от 60 до 2000 м (рис. 55). В пластах каменной соли мощностью до 20 м сооружаются подземные тоннельные емкости через наклонно-горизонтальные скважины. Глубина заложения емкостей

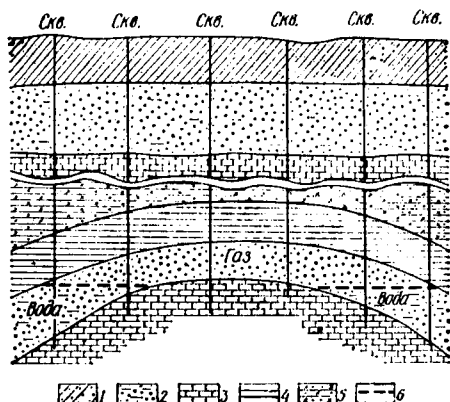


Рис. 54. Схематический разрез подземного газохранилища в водоносном горизонте:

1 — суглинки, 2 — пески водоносные, 3 — известняки, 4 — глины, 5 — песчаники, 6 — контакт газ — вода

в таких пластах определяется техническими возможностями наклонно-горизонтального бурения и не превышает 400 м. Для сооружения подземных емкостей пригодны отложения каменной соли с содержанием рассеянных нерастворимых включений до 30% (по массе). Недопустимо строительство емкостей в соляных залежах, на участках непосредственного развития процессов карстообразования [3—6].

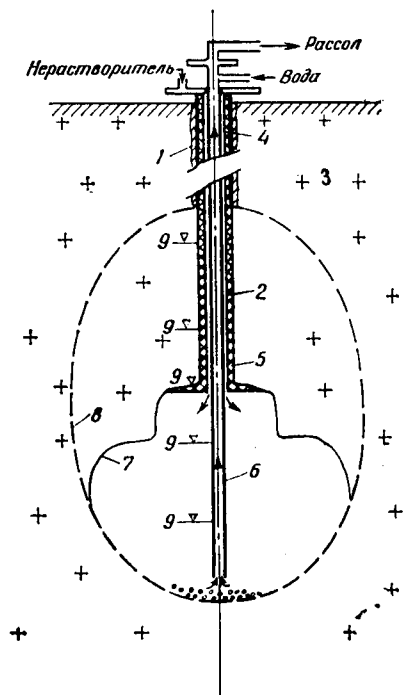


Рис. 55. Принципиальная схема выщелачивания каменной соли в процессе создания подземной емкости:

1 — цементное затрубное кольцо, 2 — «нерастворитель» (керосин и т. п.), 3 — каменная соль, 4 — обсадная колонна, 5 — промежуточная колонна, 6 — центральная колонна, 7 — промежуточный (рабочий) контур емкости, 8 — конечный (проектный) контур емкости, 9 — положение контакта «нерастворитель» — рассол на различных ступенях выщелачивания

В процессе подземного растворения каменной соли с каждого кубометра подземной емкости на поверхность извлекается 8—10 м³ рассола с концентрацией хлорида натрия от 100 до 300 г/л. Рассол подлежит удалению со строительной площадки подземного хранилища. Один из наиболее распространенных способов удаления рассола со строительных площадок подземных хранилищ — сброс его в поглощающие водоносные горизонты (см. гл. XVI).

Подземные газонефтехранилища, сооружаемые горным способом (шахтные хранилища), представляют собой систему горизонтальных выработок-емкостей, соединенных с дневной поверхностью, как правило, вертикальным стволом и технологическими скважинами. Наиболее часто шахтные емкости сооружаются в районах, где в пределах глубин до первых сотен метров развиты водоупорные толщи достаточной мощности.

Горные породы, пригодные для сооружения шахтных хранилищ, должны быть практически непроницаемыми, т. е. служить надежными экранами для нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов при давлении

в них, соответствующих упругости паров хранимых продуктов при температуре пород массива на глубине заложения емкостей [2]. Для оценки экранирующей способности пород используется специально разработанная для этой цели классификация, в основу которой положены некоторые физические свойства пород (табл. 7).

Наиболее часто хранилища сооружаются в породах, устойчивых в горных выработках: ангидридах, гипсах, нетрещиноватых доло-

митах и известняках, глинистых сланцах, гранитах. На участках предполагаемого строительства, где отсутствуют устойчивые породы, хранилища могут сооружаться и в неустойчивых непроницаемых породах — глинах с созданием в них сплошной постоянной крепи.

По техническим и экономическим соображениям шахтные хранилища для нефти и нефтепродуктов наиболее часто сооружаются

Таблица 7

Клас- сы по- род	Экранирую- щая способ- ность	Давление про- рыва газа через водона- сыщенную по- роду, МПа	Проницаемость абсолютная (по газу), милли- дарси	Медианный диаметр пор, мкм	Пористость откры- тая, %	
					по дан- ным на- гнетания ртути	по дан- ным на- сыщения керосином
I	Высокая	6,9	10^{-5}	0,04	3	2
II	Повышенная	$3,9 \div 6,9$	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$0,08 \div 0,04$	$5 \div 3$	$3 \div 2$
III	Средняя	$1,5 \div 3,9$	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$0,16 \div 0,08$	$5 \div 3$	$3 \div 2$
IV	Пониженная	$0,5 \div 1,5$	$10^{-2} \div 10^{-3}$	$0,5 \div 0,16$	$15 \div 5$	$12 \div 3$
V	Низкая	$0,1 \div 0,5$	$10^{-1} \div 10^{-2}$	$6,4 \div 0,5$	$20 \div 15$	$14 \div 12$
VI	Отсутствует	0,1	10^{-1}	6,4	20	14

в интервале глубин 20—100 м, а бутана и пропана — 80—150 м. Для сжиженных газов с более высокой упругостью паров глубина заложения емкостей увеличивается до глубин 200—400 м.

Мощность пород, пригодных для размещения выработок — емкостей хранилища с оставлением в почве и кровле некоторого запаса непроницаемых пород, должна быть не менее 20 м.

§ 2. Гидрогеологические исследования при проектировании и строительстве подземных хранилищ природного газа в водоносных горизонтах

С помощью гидрогеологических исследований решаются основные задачи, определяющие пригодность водоносных горизонтов для хранения природного газа. Исследования выполняются в три стадии: предварительные гидрогеологические исследования, детальная разведка водоносных горизонтов и опытно-промышленная закачка газа.

При потребности в конкретном районе в межсезонном хранении природного газа проводится изучение геологического строения и гидрогеологических условий района по фондовым и опубликованным материалам. В первую очередь изучаются материалы глубокого опорного разведочного и промыслового бурения на нефть и газ.

На стадии предварительных исследований наряду с изучением литолого-стратиграфического разреза систематизируются данные о

структурных особенностях района, химическом составе подземных вод, пористости, коэффициентах проницаемости и пьезопроводности, пластовых давлениях водоносных горизонтов. На основе анализа указанных данных выявляются водоносные горизонты, перспективные для хранения природного газа, а также участки, благоприятные для размещения подземных хранилищ.

Оценку герметичности водоупорной покрышки на данной стадии выполняют по гидродинамическим и гидрогеологическим показателям разделяемых ею водоносных горизонтов. Так, наличие значительной разности в статических уровнях горизонтов и различий в химическом составе их вод свидетельствует о герметичности разделяющей их водоупорной толщи, а сходство или близость этих показателей могут указывать на обратное.

На стадии детальной разведки водоносных горизонтов решаются основные задачи геологоразведочных работ: 1) устанавливаются размеры и форма геологической структуры, 2) оценивается герметичность кровли пласта-коллектора, 3) определяется степень гидродинамической сообщаемости по пласту и дается оценка зон неоднородности, 4) выявляются осредненные геолого-физические параметры пласта и технологические параметры скважин. Последние три задачи решаются с помощью гидродинамических исследований, которые проводятся в два этапа [2].

Первый этап исследований начинается с бурения параметрических скважин. Они проходятся с частичным отбором керна. В скважинах проводится опробование водоносных горизонтов в интересующих исследователей интервалах глубин, изучается геофизический разрез района. По результатам бурения и исследований в параметрических скважинах окончательно выбирается пласт-коллектор, подлежащий детальному изучению, и определяются следующие его характеристики: 1) коэффициент пьезопроводности Kh/μ ; 2) комплексный параметр $a/r_{пр}^2$; 3) коэффициент продуктивности скважин по воде q ; 4) приведенный радиус скважин $r_{пр}$ и коэффициент кажущейся проницаемости K_k ; 5) устойчивость стенок скважины и допустимая депрессия на пласт.

Определение перечисленных гидродинамических характеристик пласта осуществляется методами восстановления забойного давления и установившихся отборов (опытных откачек), а также экспресс-методом. По результатам наблюдений за восстановлением давления и по данным экспресс-метода рассчитываются коэффициенты эффективной проницаемости $K_{эфф}$ и пьезопроводности a , а также обобщенный приведенный радиус скважины $r_{пр}$.

По данным установившихся отборов рассчитывается коэффициент продуктивности q и определяется максимальная депрессия (понижение уровня) на пласт. По коэффициенту продуктивности в свою очередь рассчитываются коэффициенты кажущейся проницаемости K_k и пьезопроводности a .

Опытные откачки проводятся из группы (3—5) скважин при трех ступенях понижения уровня (и более) с определением отно-

шения содержания песка к откачиваемой воде. Это позволяет установить максимально допустимое понижение динамического уровня. На первом (меньшем) и последнем (большем) понижениях обязательно выполняются наблюдения за восстановлением забойного давления.

Размещение опытных гидрогеологических скважин зависит от многих факторов, и в первую очередь от фациальной неоднородности пласта-коллектора. На фациально выдержанных пластах число опытных скважин должно быть минимальным (2—3 скважины), а на фациально невыдержанных число опытных скважин увеличивается до пяти. Около каждой опытной скважины должно быть 3—4 наблюдательных скважины.

На второй группе гидрогеологических скважин проводятся опытные откачки при максимальном понижении уровня, установленном на первой группе скважин, с обязательным проведением наблюдений за восстановлением забойного давления. Продолжительность откачки должна быть достаточной для обеспечения установившегося распределения давлений в пласте на участке скважины. Перерывы в откачках недопустимы, так как это влияет на качество результатов наблюдений за восстановлением забойного давления.

На третьем кусте опытных гидрогеологических скважин проводятся исследования экспресс-методом. Сущность этого метода заключается в закачке небольшого количества воздуха в предварительно освоенную скважину с целью отжатия уровня воды на несколько десятков метров. После пребывания скважины в стабильном состоянии в продолжение 1—2 ч осуществляется сброс избыточного давления в атмосферу. Продолжительность сброса 20—60 мин. С начала закачки и до окончания сброса воздуха на скважине систематически замеряются устьевое и забойное давления. Эти данные позволяют рассчитывать гидродинамические характеристики пласта. Более полно экспресс-метод описан в методических указаниях [2].

При проведении опытных гидрогеологических работ на всех трех группах опытных скважин должно быть по одной наблюдательной скважине, вскрывающей водоносный горизонт, залегающий над кровлей верхнего водоупора (покрышки).

Второй этап гидрогеологических исследований пласта-коллектора получил название площадной гидроразведки. На этом этапе устанавливают: 1) площадную гидравлическую связь по пласту-коллектору; 2) герметичность покрышки пласта-коллектора на основе выявления гидравлической связи между пластом-коллектором и вышележащими водоносными горизонтами; 3) уточняется геологическое строение пласта-коллектора по результатам реагирования скважин; 4) осредненные гидродинамические параметры пласта-коллектора в межскважинных зонах.

Площадное гидропрослушивание осуществляется с помощью кустовых и групповых откачек воды по общепринятым методикам, а также с помощью закачки воздуха в пласт-коллектор.

Опытная закачка воздуха проводится в скважину, расположенную, как правило, в сводовой части поднятия. Для наблюдений за герметичностью покрышки в сводовой части бурится и оборудуется не менее двух наблюдательных скважин на вышележащий водоносный горизонт. В процессе опытной закачки воздуха ведутся систематические наблюдения за изменением забойных давлений или уровней воды во всех скважинах, пригодных для этой цели.

Опытная закачка воздуха имеет некоторые преимущества по сравнению с откачкой воды (более интенсивное возбуждение пласта, возможность эффективного гидрогеологического опробования рыхлых коллекторов и получения некоторых технологических параметров, необходимых для расчета закачки и отбора газа из будущего хранилища).

В результате обработки и анализа результатов полевых гидрогеологических исследований выносится решение о пригодности данного пласта-коллектора для хранения природного газа. При положительном решении выдаются основные исходные данные для проектирования подземного хранилища.

Опытно-промышленная закачка газа является завершающей стадией гидрогеологических исследований для проектной разработки подземного хранилища и в то же время служит составной частью работ по освоению хранилища.

В задачи работ входит уточнение площадных гидродинамических характеристик пласта-коллектора. Этому способствует значительно большой фонд скважин, который на этой стадии пополняется разведочно-эксплуатационными и эксплуатационными скважинами. Объемы опытно-промышленной закачки газа на несколько порядков превышают объемы опытной закачки воздуха. Поэтому на площади хранилища появляются большие возможности для наблюдения и оценки взаимодействия скважин, фильтрационной неоднородности пласта-коллектора и т. д.

Существенным отличием работ этой стадии от предыдущих является возможность применения геохимических методов исследований. Отбор проб воды и их анализ на газовый состав (метан) позволяют более точно оценить надежность покрышки пласта-коллектора, уточнить структурную карту подошвы покрышки и решить ряд других задач.

По результатам выполненных исследований окончательно определяются возможные объемы хранения газа, уточняются технологические параметры наземных и подземных сооружений хранилища, устанавливаются нормы допустимых потерь и т. д.

§ 3. Гидрогеологические исследования при проектировании подземных хранилищ в отложениях каменной соли

Гидрогеологические исследования как составная часть комплекса геологоразведочных работ выполняются в две стадии: предварительные исследования и детальная разведка. Если в каком-либо

районе выявлена потребность в хранении нефтепродуктов, сжиженных или природного газов, то изучаются фондовые и опубликованные геологические материалы с целью выявления отложений каменной соли, пригодных для сооружения подземных емкостей. При наличии таких отложений исследуются геологическое строение и гидрогеологические условия их залегания.

От литологических особенностей и характера обводнения надсолевых отложений во многом зависит конструкция разведочных и эксплуатационных скважин, что в свою очередь определяет технико-экономические показатели хранилища. Знание гидрогеологических условий района соляного месторождения необходимо также для оценки развития соляного карста и соответственно пригодности соляных отложений для сооружения подземных емкостей.

Наиболее рациональный способ удаления рассола со строительных площадок подземных хранилищ — передача его рассолопотребляющим предприятиям. При отсутствии таких предприятий проводится изучение гидрогеологических условий для выявления водоносных горизонтов, пригодных для сброса рассола (см. гл. XVI, § 2).

В результате предварительных гидрогеологических исследований выдаются исходные данные для оценки технико-экономических показателей хранилища и рекомендуются участки и водоносные горизонты для детальной разведки. Детальная разведка участков строительства подземных хранилищ осуществляется в два этапа. На первом этапе для оценки возможности сооружения подземных емкостей разведывается соляная залежь. При положительных результатах разведки соляной залежи на втором этапе разведывается (если в этом есть необходимость) поглощающий водоносный горизонт для сброса рассола.

В процессе разведки соляных залежей гидрогеологические исследования включают: наблюдения за бурением разведочных скважин и испытание на проницаемость соляных отложений.

Гидрогеологические наблюдения в процессе бурения разведочных скважин ведутся за поглощением, разбавлением, химическим составом и параметрами бурового раствора, за провалами бурового инструмента и за уровнями подземных вод.

Проницаемость соляных отложений определяется в открытых стволах опрессовкой скважин [3]. Устье скважины оборудуется фонтанной арматурой или цементировочным оголовком. После этого в скважину нагнетается насыщенный хлоридно-натриевый рассол. Давление на устье скважины (обычно не менее 9,8 МПа) не должно превышать максимально допустимого $P_{\text{макс}}$, определяемого по формуле

$$P_{\text{макс}} = H (0,9\gamma - \gamma_p), \quad (\text{XVII.1})$$

где H — глубина башмака обсадной колонны; 0,9 — коэффициент запаса; γ — средняя плотность вскрытых скважиной пород; γ_p — плотность нагнетаемого рассола.

Испытуемый интервал отложений каменной соли считается практически непроницаемым, если падение давления на устье скважины за 30 мин не превысит 5% от первоначального.

Выбор поглощающих горизонтов для сброса рассола зависит от типов соляных месторождений. На месторождениях пластового и пластово-линзовидного типа при глубине залегания каменной соли до 500—700 м для сброса используются подсолевые водоносные горизонты. При глубинах залегания каменной соли более 700—800 м рассол сбрасывается в надсолевые горизонты. На соляных штоках в качестве поглощающих используются боковые водоносные горизонты, а на соляных куполах — надсолевые.

Задачи опытных гидрогеологических работ в процессе разведки поглощающих горизонтов — окончательная оценка пригодности водоносного горизонта для сброса рассола и получение исходных данных для проектирования сбросных сооружений.

В хорошо изученных в гидрогеологическом отношении районах решение первой задачи в процессе разведочных работ, как правило, отпадает. Она решается на стадии предварительных исследований. В относительно слабо изученных районах бурится 1—2 разведочные скважины на вышележащий водоносный горизонт для изучения химического состава подземных вод и надежности водоупора, разделяющего поглощающий и вышележащий горизонты. Бурение скважин выполняется с отбором керна по водоупорным породам. Для отбора проб воды на химический анализ проводятся пробные откачки. Довольно часто, когда это позволяет геологический разрез и технология сооружения скважин, опробование вышележащего горизонта осуществляется в процессе бурения разведочных скважин на поглощающий горизонт.

Исходные данные для проектирования сбросных сооружений включают следующие гидрогеологические параметры поглощающих горизонтов: глубину залегания и мощность водоносных пород, их пористость (общую и эффективную), водопроводимость, коэффициенты проницаемости и пьезопроводности, статическое пластовое давление, химический состав и плотность подземных вод поглощающего горизонта.

Для получения этих данных бурится не менее двух гидрогеологических скважин, которые располагаются таким образом, чтобы при откачке или нагнетании в одну скважину вторая могла быть наблюдательной. В случае, когда для сброса рассола разведываются надсолевые водоносные горизонты, для выполнения опытных гидрогеологических работ переоборудуются разведочные скважины на соль или другие ранее пробуренные на участке скважины.

Опытные гидрогеологические работы включают освоение скважин, пробные и опытные откачки, наливы или нагнетания.

Освоение скважин и пробные откачки обычно совмещаются. В процессе пробных откачек определяется статический уровень или забойное давление в скважине, отбираются пробы воды на химические анализы; помимо обычных наблюдений, фиксируется вынос

частиц породы из коллектора и т. д. Результаты пробных откачек позволяют сделать предварительную оценку водоносного горизонта, подобрать оборудование и определить глубину спуска насосно-компрессорных труб (при использовании эрлифта).

Названные параметры водоносного горизонта, используемые в качестве исходных данных для проектирования, определяются по данным опытных откачек, наливов или нагнетаний. В конце откачек проводятся наблюдения за восстановлением статического уровня или забойного давления. Пробы воды на химический анализ отбираются при первом понижении уровня, так как из-за чередования откачек с наливами или нагнетаниями на последующих понижениях откачивается вода, уже побывавшая на поверхности.

Опытные наливы или нагнетания проводятся с расходами, в 2—5 раз превышающими расходы, полученные при откачках на соответствующих понижениях. Это позволяет получать, во-первых, большие возмущения водоносного горизонта, во-вторых, выполнить нагнетания или наливы с расходами, близкими к эксплуатационным.

Результаты детальной разведки служат исходными данными для разработки технического проекта строительства подземного хранилища [3].

§ 4. Геолого-гидрогеологические исследования при проектировании подземных шахтных хранилищ

Последовательность проведения геолого-гидрогеологических исследований при создании подземных газонефтехранилищ шахтного типа (рис. 56) определяется стадийностью проектирования последних [2, 5].

Изучение фондовых или опубликованных геологических и гидрогеологических материалов осуществляется для составления технико-экономического обоснования строительства, в котором решается вопрос принципиальной технической возможности и экономической целесообразности сооружения хранилища в заданном районе. Основная цель изучения фондовых материалов — выявление водопоров, перспективных для заложения хранилищ, и выбор участка (или участков) для постановки полевых геолого-гидрогеологических исследований.

Полевые геолого-гидрогеологические исследования включают комплекс буровых работ, исследований в скважинах и лабораторных испытаний. Они увязываются со стадиями проектирования хранилищ.

Цель геолого-гидрогеологических исследований на стадии проекта — выбор в разрезе участка будущего строительства водоупорной толщи пород и определение ее пригодности для размещения выработок-емкостей. В процессе этих исследований изучаются геологическое строение и гидрогеологические условия участка, а также определяются пространственное положение водоупора в пределах

участка, отсутствие в нем нарушений и его экранирующая способность. Количество разведочных скважин должно быть минимальным, но достаточным для выяснения пригодности водоупора в пределах площади необходимого размера. На участках, характеризующихся относительно простым геологическим строением и гидрогеологическими условиями (горизонтальное залегание водоупора, отсутствие в нем нарушений и т. п.), обычно бурится не более 5—9 скважин, расположенных конвертом или по квадратной

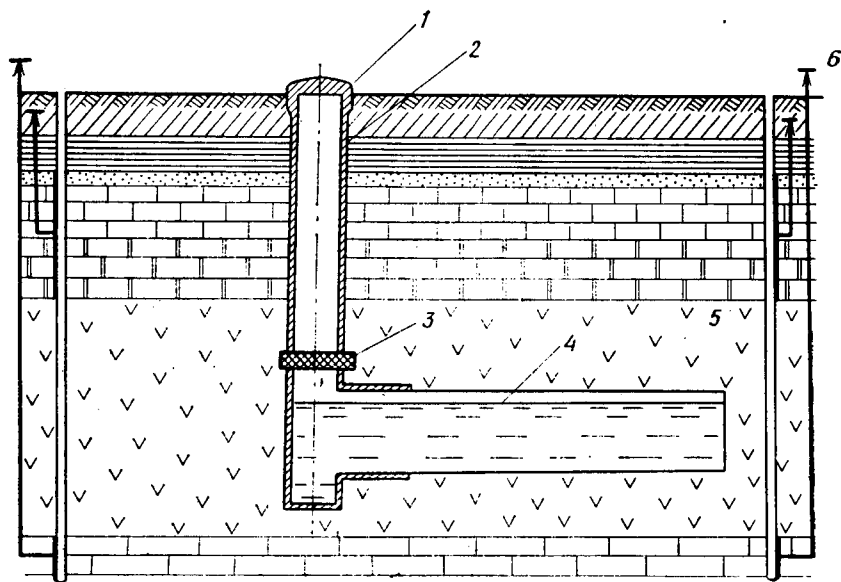


Рис. 56. Схематический геолого-гидрогеологический разрез хранилища шахтного типа:

1 — оголовок ствола, 2 — шахтный ствол, 3 — герметичная перемычка, 4 — выработка — емкость, 5 — пласт-водоупор, 6 — пьезометрические уровни водоносных горизонтов

сетке с расстоянием между соседними скважинами 0,5—0,7 км. Это позволяет охватить площадь, необходимую для размещения хранилища с достаточным коэффициентом запаса. При наличии в пределах участка карстопроявлений, тектонических нарушений и т. п. количество скважин увеличивается, а расстояние между ними сокращается.

Часть разведочных скважин предназначена для изучения гидрогеологических условий участка и поинтервального исследования сплошности распространения исследуемого водоупора. Под сплошностью водоупора понимается отсутствие в его толще проницаемых зон, которые могут служить путями фильтрации. Гидрогеологические и испытательные скважины должны составлять порядка 40% от общего числа разведочных скважин, проходимых на участке.

Все скважины проходятся со сплошным отбором керна, причем предусматриваются мероприятия, обеспечивающие высокий (не менее 80%) выход керна по водоупору.

В негидрогеологических разведочных скважинах в процессе бурения фиксируются уровни воды в скважине (при самоизливе — дебиты), интервалы и интенсивность поглощения промывочной жидкости, провалы бурового инструмента, температуры подземных вод (см. гл. III, § 3).

При проведении исследований в гидрогеологических скважинах предусматривается получение следующих сведений по всем водоносным горизонтам, залегающим выше исследуемого водоупора, и по горизонту, непосредственно подстилающему его: литологические особенности водоносных пород, глубина их залегания и мощности, водообильность, напоры и фильтрационные свойства, взаимосвязь водоносных горизонтов (особое внимание уделяется изучению взаимосвязи водоносных горизонтов, разделенных исследуемым водоупором), направление и скорость движения подземных вод, их химический состав и агрессивность по отношению к металлу и бетону, расчетные значения притоков воды в ствол хранилища при его проходке.

Сплошность водоупора исследуется методом наблюдения за притоком, наливами или нагнетаниями воды в открытые интервалы скважины при полной их изоляции от выше- и нижележащих пород. Изоляция достигается применением обсадных колонн с затрубной цементацией, установкой стальных пакеров, забивкой нижних интервалов скважины глиной. Длина каждого открытого интервала при исследованиях 10—15 м. Интервал считается герметичным, если в результате наблюдений продолжительностью не менее суток приток воды в скважину (или поглощение при наливах и нагнетаниях) отсутствует.

В скважинах проводятся геофизические исследования, в задачи которых входят: выявление трещиноватости, карстопроявлений, проницаемых пропластков в водоупоре, определение мест притока подземных вод, характеристик водоносных горизонтов, температуры пород и подземных вод, сплошности и качества цементного стакана в затрубном пространстве. Задачи решаются обычными методами промысловой геофизики.

В процессе работ из водоупорной толщи отбираются образцы и проводятся лабораторные исследования экранирующей способности пород. В состав исследований входят определения абсолютной проницаемости (по газу), открытой пористости и естественной водонасыщенности.

Результаты работ этой стадии служат исходными данными для выбора объемно-планировочной схемы подземного хранилища определения мест заложения выработок-емкостей и ствола.

Геолого-гидрогеологические исследования на стадии составления рабочей документации хранилища проводятся на площадке, выбранной по результатам предшествующих работ в пределах раз-

веданного участка. Цель их — уточнение горизонта заложения подземного хранилища, его литологических особенностей, экранирующей способности и гидрогеологических условий по трассам выработок-емкостей.

Для этих целей разведочные скважины располагают по профилям либо по контуру будущего хранилища, либо параллельно оси проектируемых выработок-емкостей. Профили закладывают на расстоянии не менее 25 м от оси выработок. Расстояние между скважинами обычно принимают 100—150 и реже до 200 м. Расстояния между профилями определяются объемно-планировочной схемой хранилища. Одна из скважин проходится непосредственно в месте заложения ствола хранилища с выполнением по ней полного комплекса гидрогеологических исследований. Число гидрогеологических и испытательных скважин, так же как и на предыдущей стадии, должно составлять не менее 40% от общего их количества.

Исследования в скважинах, опробование и лабораторные испытания аналогичны комплексу соответствующих работ, выполняемых на стадии проекта, но характеризуются большей детальностью.

По результатам выполняемых исследований конкретизируется объемно-планировочная схема хранилища, расположение выработок-емкостей в плане и разрезе, место заложения ствола, способ его проходки и крепления.

ГЛАВА XVIII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ, РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Наша страна обладает достаточно большими запасами многих полезных ископаемых, однако все возрастающие потребности народного хозяйства требуют дальнейшего ускорения темпов геологоразведочных работ и повышения их геологической и экономической эффективности в целях создания такой минерально-сырьевой базы, которая обеспечит долгосрочное прогнозирование, планирование и развитие экономики, а также научно обоснованное размещение и развитие производительных сил страны с учетом требований охраны природы и наиболее рационального использования земли и её недр (минерально-сырьевых ресурсов).

Поиски и разведка полезных ископаемых в настоящее время ведутся на основе планомерных геологических исследований путем комплексного изучения всей территории СССР с широким использованием дистанционных, наземных и подземных геолого-минералогических, геофизических и геохимических методов, гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических исследований, с учетом результатов бурения глубоких скважин и применением современных технических средств. При этом объектами поисков, раз-

ведки и разработки все в большей степени оказываются глубокие месторождения со сложными и весьма сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями, что существенно повышает роль и значимость гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на всех стадиях геологоразведочных работ и при разработке месторождений твердых полезных ископаемых.

§ 1. Общие положения

Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых могут проводиться по крайней мере в трех различных аспектах, различающихся целевой направленностью и характером выполняемых исследований.

1. В первом случае гидрогеологические исследования выполняются с целью изучения природных гидрогеологических условий месторождения и их всесторонней оценки как одного из основных факторов, определяющих условия разведки, целесообразность и экономическую эффективность последующего освоения и эксплуатации месторождения. При этом подземные воды рассматриваются как вредный фактор, способный не только существенно осложнить условия разведки и разработки месторождения полезных ископаемых, но и предопределить нерентабельность его промышленного освоения в настоящее время (из-за чрезвычайно высоких затрат на осушение месторождения, борьбу с водопритокami и вредным воздействием подземных вод и протекающих с их участием различных физико-геологических явлений и процессов). В этих условиях они изучаются как активный вид геологической материи, предопределяющий развитие многих неблагоприятных процессов в горных породах и выработках (фильтрация подземных вод и их прорывы, суффозия, солифлюкция, оползни, пучение, просадки, карст, обвалы, агрессия, коррозия и др.), особенно интенсивно проявляющихся в процессе проведения разведочных горных работ и при разработке месторождений.

Только тщательное комплексное изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождения, их правильная оценка и интерпретация создают основу для выполнения необходимых гидрогеологических прогнозов, обоснованного выбора мероприятий по управлению водным режимом месторождения, правильной и объективной геолого-промышленной оценки месторождения и условий его дальнейшего промышленного освоения. Выполняемые для этих целей гидрогеологические и инженерно-геологические исследования являются неотъемлемой составной частью общего комплекса геологоразведочных работ. Они предусматриваются в общем проекте геологоразведочных работ, выполняются в рамках установленной для них стадийности по единой с ними программе и финансируются за счет средств на геологоразведочные работы по основному полезному ископаемому. Именно в этом аспекте и рассматриваются в дальнейшем гидрогеологические исследования, вы-

полняемые в процессе поисково-разведочных работ и разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

2. Во втором случае гидрогеологические исследования выполняются и используются как специальные дополнительные (а в отдельных случаях и основные) методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, имеющие целью оценку перспектив той или иной территории на различные полезные ископаемые, повышение разрешающей способности и экономической эффективности основного комплекса геологоразведочных работ и выполнение основной их цели — найти и разведать промышленное месторождение полезных ископаемых.

При этом гидрогеологические условия (в особенности условия формирования химического состава подземных вод, особенности гидрогеодинамики и гидрогеохимии, палеогидрогеологические условия и другие показатели) изучаются, оцениваются и интерпретируются с позиций установления различного рода аномалий, поисковых признаков, предпосылок и критериев, используемых для выявления перспективных для поисково-разведочных работ площадей, а иногда и непосредственно для обнаружения и оконтуривания месторождений полезных ископаемых. Подземные воды в таких условиях рассматриваются как важнейший геологический агент, участник многообразных гидрогеохимических процессов, определяющих миграцию химических элементов в земной коре, их концентрирование в форме рудных залежей и месторождений, как источник ценнейшей информации о местонахождении месторождений полезных ископаемых, об условиях их формирования и разрушения. Примерами такого рода гидрогеологических исследований служат гидрогеохимические и радиогидрогеологические методы поисков рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых (см. гл. VIII, § 3 и 4), гидрогеологические исследования при поисках нефтяных и газовых месторождений (см. гл. XIV, § 2), палеогидрогеологические реконструкции [4, 10]. Такого рода гидрогеологические исследования могут проводиться как в совокупности с другими методами поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (что особенно эффективно), так и самостоятельно или в составе поисково-съемочных работ. Наиболее информативными и эффективными такие исследования оказываются на первоначальных стадиях геологоразведочных работ (при региональных геолого-гидрогеологических исследованиях и на стадии поисков месторождений полезных ископаемых).

3. В третьем случае гидрогеологические исследования в районах месторождений твердых полезных ископаемых могут проводиться в целях изучения и оценки подземных вод, как возможных источников для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения объектов горнорудных и перерабатывающих предприятий в процессе промышленного освоения и разработки месторождений. При этом подземные воды сами рассматриваются как полезное ископаемое, а их поиски и разведка выполняются по от-

дельным геологическим заданиям в соответствии с установленными положениями по гидрогеологическим исследованиям для целей водоснабжения (см. гл. IX). Финансирование этих исследований осуществляется за счет средств, выделяемых на гидрогеологические и инженерно-геологические работы. Спецификой такого рода исследований является необходимость учета возможного влияния дренажных сооружений (системы водоотлива) и процесса отработки месторождения на условия организации водоснабжения будущих горнодобывающих предприятий (при этом не исключено, что источник водоснабжения может находиться и на значительном удалении от разрабатываемого месторождения).

Как частный, но вполне возможный случай может встретиться и такой вариант, когда подземные воды на участке отработки месторождения в силу специфики их микрокомпонентного состава могут рассматриваться как гидроминеральное сырье (аналог промышленных вод) для извлечения из них промышленно ценных компонентов. Исследования таких промышленно ценных «рудничных вод» выполняются в рамках общего комплекса геологоразведочных работ. Они призваны способствовать реализации на практике принципа комплексного и рационального использования природных ресурсов (как водных, так и минерально-сырьевых), нашедшего отражение в Основах водного законодательства и Основах законодательства СССР о недрах.

В последующем рассмотрим как основные гидрогеологические исследования, выполняемые в общем комплексе геологоразведочных работ, направленных на поиски и разведку месторождений твердых полезных ископаемых, их геолого-промышленную оценку и проектирование их разработки. Другие аспекты гидрогеологических исследований либо рассмотрены ранее (см. гл. VIII и XIV), либо являются предметом специальных исследований.

§ 2. Общие задачи гидрогеологических исследований.

Требования к гидрогеологической изученности месторождений

Как уже отмечалось, гидрогеологические исследования при поисково-разведочных работах на твердые полезные ископаемые планируются и проводятся в общем комплексе геологоразведочных работ в рамках установленной для них стадийности по общему проекту и нередко по единой программе. Это положение определяет некоторую специфику гидрогеологических исследований: они являются как бы попутными, дополнительными и призваны способствовать эффективному решению основных задач геологоразведочных работ. Чрезвычайно важно поэтому при планировании и проведении гидрогеологических исследований в максимально возможной степени ориентироваться на получение необходимой гидрогеологической информации за счет использования предусматриваемых проектами основных геологоразведочных работ (организация гидрогео-

логических наблюдений и опробования поисковых и разведочных буровых скважин, тщательное обследование и наблюдения в горно-разведочных выработках, использование результатов геофизических работ, опытно-фильтрационные наблюдения в процессе попутных возмущений подземных вод и т. д.). Это дает возможность снизить затраты на геологоразведочные работы (в отдельных случаях стоимость гидрогеологических работ достигает до 20% от общей стоимости разведки), повысить их экономическую эффективность и получить необходимую гидрогеологическую информацию без дополнительных затрат. Вместе с тем при невозможности получения необходимой гидрогеологической информации за счет основных геологоразведочных работ следует организовать проведение специальных гидрогеологических работ и исследований (в том числе и за пределами изучаемого месторождения или участка).

Таким образом, общими задачами выполняемых в составе комплекса геологоразведочных работ гидрогеологических исследований является: изучение гидрогеологических условий района месторождения, всесторонняя оценка этих условий и выполнение необходимых гидрогеологических прогнозов и обоснований, обеспечивающих эффективное выполнение поисково-разведочных работ, объективную геолого-промышленную оценку месторождения и обоснование наиболее благоприятных условий его промышленного освоения.

Определенная конкретизация задач гидрогеологических исследований при геологоразведочных работах на твердые полезные ископаемые содержится в официальных инструкциях ГКЗ СССР по применению классификаций запасов к месторождениям различных полезных ископаемых и в действующих методических руководствах [1, 5, 7, 8, 10—13].

Обобщая и суммируя требования инструкций ГКЗ СССР к гидрогеологическим исследованиям, можно отметить, что в результате их проведения должны быть решены следующие конкретные задачи.

1. Изучены общие гидрогеологические, геокриологические и инженерно-геологические условия района месторождения.

2. Изучены основные водоносные горизонты и комплексы, которые могут участвовать в обводнении месторождения (условия их распространения, питания и разгрузки, химический и бактериологический состав подземных вод, положение уровней, расчетные гидрогеологические параметры).

3. Оценены возможные водопритoki в разведочные и эксплуатационные горные выработки и обоснованы мероприятия по их защите от подземных вод.

4. Оценено возможное воздействие подземных вод на инженерные сооружения, конструкционные материалы и механизмы (их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам, коррозионные свойства и др.), содержание в них полезных компонентов и вредных примесей.

5. Дан прогноз влияния эксплуатационного водоотлива на подземные воды и окружающую среду в районе месторождения, а также прогноз развития неблагоприятных физико-геологических явлений и процессов.

6. Выполнено обоснование возможностей использования, отвода, удаления или хранения подземных вод, откачиваемых при осушении месторождения в процессе его эксплуатации.

7. Выполнена предварительная оценка возможных источников хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, обеспечивающих потребность будущих предприятий по добыче полезных ископаемых и переработке минерального сырья.

8. Даны рекомендации по проведению дальнейших специальных гидрогеологических и других исследований и изысканий.

Следует отметить, что одновременно с гидрогеологическими и в комплексе с ними проводятся и необходимые инженерно-геологические исследования, в результате которых «должны быть получены материалы, достаточные для прогнозной оценки устойчивости горных выработок и расчету основных параметров карьера». При этом в соответствии с требованиями инструкций ГКЗ СССР в результате инженерно-геологических исследований «должны быть изучены: физико-механические свойства руд, рудовмещающих пород и перекрывающих отложений, определяющие характеристику их прочности в естественном и водонасыщенном состояниях; инженерно-геологические особенности массивов пород месторождения и их анизотропия, состав пород, их трещиноватость, тектоническая нарушенность, текстурные особенности, закарстованность, разрушенность в зоне выветривания; охарактеризованы современные геологические процессы, которые могут осложнить разработку месторождения. В районах с развитием многолетнемёрзлых пород следует установить температурный режим пород, положение верхней и нижней границ мерзлотной толщи, контуры и глубины распространения таликов, характер изменения физических свойств пород при оттаивании, глубину слоя сезонного оттаивания и промерзания».

Решение всех перечисленных задач осуществляется в результате проведения гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на всех стадиях поисково-разведочных работ. При этом в результате их завершения (после проведения детальной разведки) «гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения». Инженерно-геологические исследования на месторождениях твердых полезных ископаемых следует осуществлять в соответствии со специальной инструкцией Министерства геологии СССР [6]. Для гидрогеологических исследований такой единой инструкции не существует и следует ориентироваться на использование многочисленных рекомендаций и руководств [1—3, 5, 10—13, 16—23].

§ 3. Гидрогеологические исследования на разных стадиях поисково-разведочных работ

В соответствии с принципом последовательных приближений геолого-разведочные работы на твердые полезные ископаемые проводятся по следующим основным стадиям [8, 9]: 1) региональное геологическое изучение территории; 2) поиски (с подстадиями: общие поиски, детальные поиски и поисково-оценочные работы); 3) предварительная разведка; 4) детальная разведка; 5) эксплуатационная разведка.

На каждой из стадий поисково-разведочных работ выполняется тот или иной комплекс гидрогеологических исследований, обеспечивающий эффективное решение поставленных задач с учетом конкретных геолого-гидрогеологических условий, их сложности и степени изученности. При этом, как уже отмечалось, гидрогеологические исследования выполняются как неотъемлемая составная часть общего комплекса геологоразведочных работ по единому с ними проекту. Подавляющая часть гидрогеологических исследований выполняется уже в процессе собственно разведочных работ (предварительная, детальная и эксплуатационная разведка). Их виды, содержание и методика проведения зависят от стадии геологоразведочных работ, сложности и степени изученности природных условий и необходимости получения исходных данных для решения поставленных задач, гидрогеологических оценок, прогнозов и обоснований.

В стадии регионального геологического изучения познаются геологическое строение и гидрогеологические условия крупных территорий (структур), выявляются закономерности пространственного размещения полезных ископаемых, оцениваются их прогнозные ресурсы и выделяются площади, перспективные для проведения поисковых работ. Для решения поставленных задач проводятся как специализированные региональные геолого-геофизические исследования (масштаба 1 : 500 000 и мельче с использованием данных космोटтогеологического и глубинного геологического картирования, глубинного сейсмического зондирования и других современных методов исследования земной коры), так и региональные геофизические, геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические съемочные работы (масштаба 1 : 200 000—1 : 100 000). На этой стадии наряду с геологическими и гидрогеологическими съемочными работами для решения поставленных задач может оказаться эффективным проведение региональных гидрогеохимических и радиогидрогеологических исследований (особенно для выявления перспективных территорий для поисков сульфидных, полиметаллических, цветных, урановых и редкометалльных полезных ископаемых).

В процессе дальнейших поисково-разведочных работ виды и объемы выполняемых гидрогеологических исследований существен-

но зависят от сложности природных условий изучаемых месторождений. Поэтому предварительно рассмотрим группировку месторождений твердых полезных ископаемых по степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий [5, 10, 13], а затем задачи, состав и содержание гидрогеологических исследований на разных стадиях поисково-разведочных работ.

По степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, определяющих виды и объемы исследований, выделяются три группы месторождений: с простыми, сложными и очень сложными условиями [5, 10].

К месторождениям с простыми условиями относятся практически безводные или слабо обводненные месторождения, освоение которых не должно приводить к развитию осложняющих их разработку инженерно-геологических явлений и не потребует предварительного осуществления защитных мероприятий. В эту группу могут быть отнесены месторождения, сложенные некарстующимися скальными породами или слабо обводненными песчано-глинистыми отложениями.

К месторождениям со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями относятся месторождения, разработка которых связана с предварительным проведением мероприятий, направленных на борьбу с подземными водами или на повышение устойчивости горных пород. При этом гидрогеологические и инженерно-геологические условия таковы, что обеспечивают проведение указанных мероприятий без особых осложнений. К этой группе могут быть отнесены месторождения, приуроченные к мощному комплексу водоносных песчаных и песчано-глинистых отложений.

К месторождениям с очень сложными условиями относятся месторождения, разработка которых возможна при широком применении специальных методов проходки горных выработок, крупных предварительных осушительных мероприятий или водопонижения, осуществление которого затруднено особо неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами пород или высокой и неравномерной обводненностью месторождения. Могут потребоваться мероприятия по отводу или изоляции поверхностных водотоков и водоемов. К этой группе могут быть отнесены месторождения в карбонатных карстующихся породах, месторождения солей и области распространения многолетней мерзлоты, месторождения, перекрытые мощными водоносными рыхлыми породами, и месторождения, расположенные вблизи поверхностных водотоков и водоемов возможных источников их обводнения.

Естественно, что месторождения с большей степенью сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий вызывают необходимость проведения более значительного по объему и стоимости комплекса исследований и требования к степени их гидрогеологической и инженерно-геологической изученности на той или иной стадии работ должны увязываться с возможностями и эконо-

мической целесообразностью проведения тех или иных исследований.

Поиски. Основной задачей поисковых работ является: выявление и оконтуривание в пределах перспективных территорий потенциальных рудных узлов, полей или отдельных месторождений с оценкой их прогнозных ресурсов и возможного промышленного значения выявленных потенциальных месторождений полезных ископаемых (на подстадии поисково-оценочных работ). Решение этой задачи невозможно без изучения и оценки общих геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий опосредованных перспективных территорий или выявленных потенциальных месторождений полезных ископаемых. Такая общая оценка геолого-гидрогеологических условий территорий осуществляется на основе изучения фондовых и литературных материалов по геологии и гидрогеологии района и анализа материалов специально выполняемых поисковых геологосъемочных работ и попутных с ними гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений. Чаще всего для таких оценок используются материалы комплексных геологических и гидрогеологических съемок масштабов 1:200 000—1:100 000. При необходимости выполняются дополнительно рекогносцировочные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования.

В процессе выполнения поисковых работ (геологическая съемка масштабов 1:50 000—1:25 000 и специальные методы поисков полезных ископаемых, в том числе и гидрогеохимические) осуществляются попутные гидрогеологические наблюдения при бурении поисковых, картировочных и опорных скважин; замеряются уровни воды и температура основных водоносных горизонтов, отбираются пробы воды на химический анализ; производится макроскопическое описание керна и горных пород в шурфах, расчистках и других разведочных выработках; обследуются имеющиеся в районе действующие шахты и карьеры; при необходимости проводятся простейшие опытно-фильтрационные опробования опорных и картировочных скважин (экспресс-опробования, пробные откачки, прокачки).

В простых природных условиях указанный комплекс гидрогеологических исследований оказывается достаточным для общей характеристики и оценки гидрогеологических условий опосредованных территорий.

Для районов со сложными и очень сложными природными условиями кроме указанного комплекса исследований нередко необходимо проведение гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических (для районов распространения многолетней мерзлоты) съемок (масштаба 1:100 000—1:50 000 и крупнее) районов потенциальных промышленных месторождений, пробных откачек из основных водоносных горизонтов на характерных участках месторождений и лабораторного изучения физико-механических свойств основных разностей пород и качества воды.

Таким образом, в результате работ поисковой стадии в границах опоикуемой территории обнаруживается одно или несколько месторождений; выявляются в первом приближении их размеры, запасы и условия залегания; ориентировочно оцениваются горно-технические (геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и др.) и экономические условия освоения месторождений; намечаются перспективные месторождения, которые являются объектами дальнейших разведочных работ.

Материалы гидрогеологических и инженерно-геологических исследований вместе с результатами поисковых работ используются для обоснования целесообразности проведения дальнейших геолого-разведочных работ и их планирования.

Предварительная разведка. Основная её цель — предварительная, но достаточно обоснованная оценка промышленного значения разведываемого месторождения. По её результатам разрабатываются временные кондиции на минеральное сырьё, осуществляется предварительная оценка запасов полезного ископаемого (в основном по категориям C_1 и C_2) и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), обосновывающий целесообразность промышленного освоения разведываемого месторождения и перехода от предварительной к его детальной разведке. В соответствии с этим комплекс выполняемых исследований должен обеспечивать изучение и оценку геолого-гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и других условий освоения месторождения, а также выполнение всех необходимых гидрогеологических прогнозов и обоснований, без которых невозможно дать объективную оценку возможностей промышленного освоения месторождения. В частности, должны быть изучены распространенные в районе и в пределах месторождения основные водоносные горизонты и комплексы, их взаимосвязь между собой и с поверхностными водами и характеризующие их основные гидрогеологические параметры; предварительно оценены возможные водопритoki в разведочные и эксплуатационные горные выработки и основные мероприятия по борьбе с подземными и поверхностными водами; установлены водно-физические и механические свойства пород, их устойчивость в подземных горных выработках и откосах карьера и возможность возникновения при горных работах тех или иных горногеологических явлений, неблагоприятных для разработки месторождения (прорывы плывунов и глинистых толщ, обрушения и обвалы, пучение пород, горные удары и пр.); оценено возможное влияние осушения месторождения на окружающую природную среду и охарактеризованы условия водоснабжения будущих горных предприятий.

Таким образом, уже на стадии предварительной разведки комплекс выполняемых гидрогеологических и инженерно-геологических исследований должен обеспечивать предварительное решение всех основных задач и требований, установленных инструкцией ГКЗ СССР (см. § 1 настоящей главы). Кроме того, материалы выполненных исследований должны позволить: 1) подразделить место-

рождение на крупные участки, различные по гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям, и наметить в совокупности с геологоразведочными работами очередность детальной разведки и ориентировочные сроки освоения участков; 2) обосновать с гидрогеологической и инженерно-геологической точек зрения целесообразность разработки месторождения открытым или подземным способом и дать ориентировочную экономическую оценку возможных мероприятий по борьбе с водопритоками; 3) осветить общие инженерно-геологические условия наземного строительства в районе месторождения; 4) наметить и обосновать программу и методику гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на стадии детальной разведки.

Для решения всех поставленных задач выполняется соответствующий комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических и других исследований, который обычно включает следующие виды работ: 1) комплексную гидрогеологическую, инженерно-геологическую и геокриологическую съемку района месторождения в масштабе 1 : 25 000—1 : 10 000 (в зависимости от сложности природных условий и размеров месторождения); 2) бурение специальных скважин для гидрогеологических и инженерно-геологических целей (опытно-фильтрационного опробования, отбора проб воды и монолитов горных пород, режимных наблюдений и пр.); 3) гидрогеологические наблюдения и документация при бурении и опробовании разведочных на полезные ископаемые скважин; 4) опытно-фильтрационные работы (одиночные и кустовые откачки) из специальных гидрогеологических и разведочных скважин, расположенных на характерных в гидрогеологическом отношении участках распространения основных водоносных горизонтов; 5) наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод, а также за температурным режимом многолетнемерзлых пород; 6) лабораторное изучение водно-физических и физико-механических свойств пород для выборочных образцов из основных петрографических типов пород с анализом их по полному комплексу определений (с отбором в необходимых случаях образцов горных пород грунтоносами и монолитов в горных выработках), а также химического состава подземных и поверхностных вод (с отбором проб из всех основных водопунктов); 7) геофизические исследования для изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий района месторождения (площадные и профильные съемки, геофизические исследования в скважинах).

Конкретный состав исследований, их объемы и методика выполнения устанавливаются в каждом случае с учетом сложности и степени изученности природных условий района месторождения, особенностей геологического строения и гидрогеологических условий изучаемых объектов и других факторов.

Комплексная геолого-гидрогеологическая съемка, являющаяся наиболее важным видом работ для изучения гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий района

месторождения, обычно проводится в пределах гидрогеологической структуры, вмещающей изучаемое месторождение. Другими словами, съемкой должна быть охвачена возможная область фильтрации основных водоносных горизонтов, которые будут принимать участие в обводнении месторождения (иногда говорят о возможной области развития депрессии при осушении месторождения). Особое внимание при съемке необходимо уделять выявлению, изучению и оценке тех факторов (естественных и искусственных), которые могут обусловить степень обводнения месторождения при его разработке (осадки, их распределение во времени и условия их стока; наличие поверхностных источников обводнения и возможные пути их участия в обводнении горных выработок; подземные воды, их распространение и условия их стока; геоморфологические особенности района месторождения и характер рельефа; литологический состав покровных, подстилающих и вмещающих пород, их мощность, пористость, трещиноватость и фильтрационные свойства; характер и условия распространения многолетней мерзлоты; тектоническая нарушенность горных пород и ее проявления; развитие карста и форм погребенного рельефа и т. п.), а также условия строительства и устойчивость горных пород (водно-физические и физико-механические свойства горных пород; характер, причины и условия развития различных физико-геологических явлений и процессов; особенности геокриологических условий и т. д.).

В районах месторождений с простыми природными условиями съемка может не проводиться либо заменяться комплексным геолого-гидрогеологическим обследованием района месторождения (на базе топографической основы масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000).

Ввиду того что предварительная разведка большинства месторождений ведется с помощью разведочных скважин, основным методом определения гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и комплексов следует считать опытно-фильтрационные работы (ОФР) в виде пробных и опытных откачек. Поскольку одной из основных задач гидрогеологических исследований является при этом прогноз водопритока в разведочные и эксплуатационные выработки, все основные водоносные горизонты, являющиеся потенциальными источниками обводнения, должны быть опробованы опытными откачками по всей области фильтрации и опытными кустовыми откачками в наиболее характерных участках месторождения (но не менее чем в 2—3 точках). При этом проектом и программой работ следует предусматривать возможность использования для ОФР части разведочных скважин (для пробных и одиночных опытных откачек и в качестве наблюдательных точек). Опытно-фильтрационными опробованиями (с получением значений основных гидрогеологических параметров, включая и коэффициенты уроне- и пьезопроводности) следует, базируясь на материалах, полученных в процессе съемки и геологоразведочных работ, охарактеризовать крупные по площади зоны пород, существенно отличающиеся по фильтрационным и емкостным свойствам.

Важным видом работ в комплексе гидрогеологических исследований, являются и наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод, которые начинают проводить на стадии предварительной разведки (в основном для изучения естественного режима), продолжают в стадии детальной и делают основным видом гидрогеологических исследований на стадии эксплуатационной разведки в процессе промышленного освоения и разработки месторождения. Их роль на стадии предварительной разведки существенно возрастает, если для обоснования гидрогеологических прогнозов и решения практических задач по изучению геолого-гидрогеологических условий месторождения предполагается использовать моделирование (при этом существенно изменяются и требования к объему и качеству необходимой гидрогеологической информации, см. § 3 гл. VII).

Режимными наблюдениями должны быть охвачены все основные водоносные горизонты (потенциальные источники водоснабжения и обводнения горных выработок) в наиболее типовых и характерных участках области фильтрации, различающихся условиями, характером и степенью влияния основных режимобразующих факторов (см. гл. V). Дополнительными участками для наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод в районах месторождений должны быть зоны развития крупных тектонических нарушений и дробления пород, участки развития карста и активной гидравлической взаимосвязи подземных и поверхностных вод, оползневые массивы, зоны с нарушенным за счет действия водоотлива режимом подземных вод.

Комплекс выполняемых в процессе предварительной разведки гидрогеологических исследований в совокупности с результатами изучения геологического строения района с помощью разведочных работ должен обеспечивать изучение гидрогеологических условий района месторождения (гидрогеологическое строение, граничные условия, фильтрационные параметры, режим подземных вод), их правильную и обоснованную схематизацию применительно к решению основных гидрогеологических прогнозов и обоснований (прогноз водопритоков и обоснование способов осушения и разработки месторождения, прогноз влияния водоотлива на окружающую среду) и обоснованность решений о целесообразности проведения детальной разведки месторождения.

Детальная разведка. Основной целью геологоразведочных работ является окончательная геолого-промышленная оценка месторождения (или участка его первоочередной отработки) с подсчетом и утверждением запасов полезного ископаемого в ГКЗ СССР по высоким категориям (обычно $A+B+C_1+C_2$) в соотношении, обеспечивающем возможность промышленного освоения месторождения и составление проекта его разработки [7, 8]. В зависимости от группы сложности геологического строения месторождений твердых полезных ископаемых это соотношение в % изменяется от (20+30+50+0) для месторождений с простым геологическим строе-

нием до $(0+0+50+50)$ для месторождений весьма сложного геологического строения (4-я группа). Детальная разведка месторождений выполняется, как правило, по системе, намеченной в стадию предварительной разведки, с применением значительных объемов подземных горных выработок (шахт, штолен и др.) и с осуществлением из них разведочного водоотлива.

В результате выполнения разведочных работ уточняются геологические, и гидрогеологические и инженерно-геологические условия месторождения; формы, размеры и условия залегания тел полезного ископаемого; качество минерального сырья и условия промышленного освоения месторождения. На основе этого разрабатывается ТЭО постоянных кондиций, которые и кладутся в основу оценки запасов, утверждаемых в ГКЗ СССР. При разработке ТЭО кондиций помимо основных требований к качеству, количеству и условиям добычи и переработки полезного ископаемого должны быть учтены гидрогеологические, геокриологические и инженерно-геологические условия месторождения (участка), обоснованы и оценены принятая схема осушения и утилизации рудничных вод, мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды, охране недр, поддержанию устойчивости горных выработок, осуществлению водоснабжения, рекультивации земель, возможный ущерб водо- и землепользователям в районе месторождения [7].

Общие требования, определяющие целесообразную степень изученности месторождения, намечаемого к промышленному освоению, гласят [7, 8], что «гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, позволяющей получить исходные данные, необходимые для составления проекта разработки месторождения (участка)». Некоторое представление о составе гидрогеологических задач и исходных данных, необходимых для составления проекта разработки, можно получить на основе изучения требований официальных инструкций ГКЗ [8 и др.], предъявляемых к гидрогеологической изученности месторождений твердых полезных ископаемых. В соответствии с этими требованиями: «Гидрогеологическими исследованиями должны быть изучены основные водоносные горизонты, которые могут участвовать в обводнении месторождения, выявлены наиболее обводненные участки и зоны и решены вопросы использования или сброса рудничных вод. По каждому водоносному горизонту следует установить его мощность, литологический состав, типы коллекторов, условия питания, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, положение уровней подземных вод и другие параметры; определить возможные водопритoki в эксплуатационные горные выработки, проходка которых предусмотрена в ТЭО кондиций, и разработать рекомендации по их защите от подземных вод. Необходимо изучить химический состав и бактериологическое состояние вод, участвующих в обводнении месторождения, их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам, содержание в них полезных и вредных приме-

сей; оценить возможность использования этих вод для водоснабжения или извлечения из них ценных компонентов, а также возможное влияние их дренажа на действующие в районе месторождения водозаборы. Следует дать рекомендации по проведению в последующем необходимых специальных изыскательских работ, оценить влияние сброса рудничных вод на окружающую среду». Обобщенный перечень гидрогеологических задач, обеспечивающих составление проекта разработки месторождения, был приведен в § 2. Там же изложены требования к инженерно-геологической изученности месторождений твердых полезных ископаемых, в результате чего должны быть получены материалы, достаточные для прогнозной оценки устойчивости горных выработок и расчета основных параметров карьера.

Таким образом, в результате завершения исследований на стадии детальной разведки должны быть получены исходные данные, необходимые для решения всего комплекса гидрогеологических задач, установленных инструкцией ГКЗ СССР (см. § 2), среди которых основными являются задачи по прогнозу водопритоков в эксплуатационные горные выработки и оценке влияния эксплуатационного водоотлива на различные элементы окружающей среды (горные породы, воды, растительность, инженерные сооружения и др.).

Необходимость решения указанных гидрогеологических задач требует, в частности, изучения гидрогеологического строения месторождения (условия залегания, распространения и взаимосвязи основных водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами), основных источников формирования водопритоков (естественные запасы и ресурсы подземных вод, привлекаемые за счет перетекания или инфильтрации подземных и поверхностных вод), расчетных гидрогеологических параметров (показатели фильтрационных и емкостных свойств K , T , μ ; коэффициенты уровне- и пьезопроводности a и a^* , показатели граничных условий — коэффициент перетекания B , дополнительное гидравлическое сопротивление ложа водотоков и водоемов ΔL , пропускная способность русла A_0 и др.) и граничных условий основных водоносных горизонтов как в естественных, так и в нарушенных водоотливом условиях.

Для получения указанной исходной информации и обеспечения возможности более обоснованного решения определяемых инструкциями ГКЗ СССР гидрогеологических задач (см. § 2) на стадии детальной разведки осуществляются исследования, почти аналогичные по своему составу исследованиям стадии предварительной разведки (общность состава задач предопределяет общность состава исследований), но отличающиеся большей детальностью их проведения. При этом основной объем исследований проводится в пределах предназначенного к промышленному освоению рудного поля и лишь некоторая их часть — за его пределами (уточнение характера границ и граничных условий, обследование и наблюдения на объектах-аналогах или объектах возможного влияния разведочного

и эксплуатационного водоотлива, изучение и оценка обводненности зон тектонических нарушений и др.).

Обычно комплекс выполняемых на стадии детальной разведки исследований включает следующие виды:

1) комплексное геолого-гидрогеологическое обследование рудного поля на базе топографической основы масштаба 1:10 000—1:5 000 (для месторождений с простыми гидрогеологическими условиями);

2) комплексная гидрогеологическая, инженерно-геологическая и геокриологическая съемка рудного поля в масштабе 1:10 000—1:2 000 (для месторождений со сложными и очень сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями);

3) бурение специальных скважин для гидрогеологических и инженерно-геологических целей (опытных, наблюдательных, разведочных гидрогеологических на месте заложения шахтных стволов, водопонизительных для разведочного водоотлива и др.);

4) гидрогеологические наблюдения и документация при проведении геологоразведочных работ (как буровых, так и горных);

5) опытно-фильтрационные работы (опытные одиночные, кустовые или групповые откачки) и опытно-фильтрационные наблюдения (в процессе разведочного водоотлива и других попутных возмущений);

6) наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод и температурным режимом многолетнемерзлых пород;

7) лабораторное изучение водно-физических и физико-механических свойств горных пород преимущественно по полному комплексу определений (при планировании открытой разработки каждого характерного слоя всего разреза месторождения; при подземном способе разработки — для пород, залегающих в кровле и подошве полезного ископаемого);

8) лабораторное изучение химического и бактериального состава подземных и связанных с ними поверхностных вод, а также показателей их агрессивности по отношению к бетону, металлам и полимерам;

9) геофизические исследования в скважинах и по площади рудного поля;

10) опытно-эксплуатационное водопонижение (для месторождений с очень сложными гидрогеологическими условиями) или разведочный водоотлив (при проходке разведочных шахт и штолен в неблагоприятных гидрогеологических условиях).

Комплекс указанных исследований позволяет уточнить геолого-гидрогеологические и инженерно-геологические условия месторождения, особенно на участках его первоочередной отработки, и на этой основе дать уточненные гидрогеологические оценки и прогнозы применительно к предлагаемому в ТЭО кондиций варианту промышленного освоения месторождения.

Как и на предыдущих стадиях, при детальной разведке для решения гидрогеологических задач максимально используются

данные основного комплекса геологоразведочных работ и их гидрогеологической документации. В частности, данные о геологическом строении, геолого-структурных и литолого-стратиграфических особенностях района месторождения широко используются для уточнения условий залегания, распространения и питания водоносных горизонтов, для составления и уточнения схемы гидрогеологического строения, квалификации характера границ и граничных условий и решения многих других вопросов схематизации гидрогеологических условий месторождения.

Определенную специфику в проведении гидрогеологических исследований обеспечивает тот факт, что детальная разведка месторождений, предназначенных к отработке горным способом, осуществляется с применением горных выработок (шахт, штолен и др.). Это дает возможность непосредственного изучения геологического строения, гидрогеологических, инженерно-геологических и других особенностей разреза в стенках горных выработок и создает условия для достоверного определения гидрогеологических параметров на основе опытно-фильтрационных наблюдений (ОФН) в процессе разведочного водоотлива. Длительный по времени и существенный по степени возмущения разведочный водоотлив рассматривается в таких условиях, как натурный эксперимент для получения пространственно-временных закономерностей изменения уровня, на основе которых более достоверно устанавливаются расчетные гидрогеологические параметры, источники формирования водопритоков и граничные условия водоносных горизонтов и комплексов.

Система разведочных горных выработок вместе со скважинами подземного бурения рассматривается при этом как водоприемная система, которая при обработке результатов ОФН представляется в виде обобщенной системы с характеризующим ее размеры приведенным радиусом.

Для получения информации о пространственном и временном изменении уровней в процессе водоотлива используется специально создаваемая сеть наблюдательных скважин (система двух-трех взаимно ортогональных профилей скважин, обеспечивающая представительный и равномерный охват развивающейся депрессионной воронки в зоне ее квазистационарного режима), включающая как специальные гидрогеологические, так и разведочные скважины. Сеть наблюдательных скважин постепенно расширяют по мере развития системы горных выработок и депрессионной воронки путем подключения новых наблюдательных пунктов как на продольном профиле (в направлении развития системы), так и на поперечных к нему профилях.

Из опыта исследований [12, 20] общее число наблюдательных пунктов изменяется в среднем от 10 до 30. В комплекс ОФН входят при этом целенаправленные стационарные наблюдения как в самой водоприемной системе (за изменением величины и характера водопритока во времени и по выработкам), так и за ее преде-

лами по скважинам наблюдательной сети (за изменением уровня, а точнее за развитием депрессионной воронки во времени).

Наблюдения в водоприемной системе необходимы для получения информации о характере и степени возмущения (что учитывается при обработке и интерпретации данных ОФН), а также о характере обводненности горных выработок и пород, особенностях формирования водопритока, режиме отдельных водопроявлений.

Наблюдения за пределами водоприемной системы необходимы для получения представительной информации о закономерностях временного и пространственного изменения уровней в процессе разведочного водоотлива (попутное возмущение), что и служит надежной основой для последующего определения расчетных гидрогеологических параметров (методами временного, площадного и комбинированного прослеживания уровня) и схематизации природных гидрогеологических условий. Обычно практикуемая ежечасная или декадная частота замеров уровня надежно обеспечивает представительность временных графиков прослеживания уровня (в конкретных условиях она может корректироваться в ту или другую сторону). В большинстве случаев при разведке месторождений с применением горных выработок области возмущения от разведочного водоотлива соизмеримы с площадью самих месторождений, причем практикуемая длительность водоотлива в 3—5 лет обеспечивает проявление основных факторов формирования водопритока. В таких условиях информация, получаемая при ОФН, является необходимой и достаточной для полной характеристики гидрогеологических условий месторождения и прогноза водопритока в эксплуатационные системы [12].

В условиях незначительных возмущений при разведочном водоотливе дополнительно к ОФН проводятся ОФР в виде кустовых откачек (на флангах месторождения и на участках, не попадающих в зону активного влияния водоотлива), обеспечивающие в совокупности с ОФН изучение гидрогеологических условий всей площади месторождения. Если же детальная разведка проводится без применения горных выработок (случай исключительно редкий), основным видом работ для определения гидрогеологических параметров и уточнения расчетной схемы области фильтрации являются ОФР (главным образом в виде кустовых откачек).

Опытно-фильтрационные наблюдения в процессе разведочного водоотлива отнюдь не исключают проведения стационарных наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод и температурным режимом многолетнемерзлых пород, которые должны осуществляться по значительно более широкой сети наблюдательных пунктов и включать полный комплекс замеров (уровня, температуры, химического состава и других показателей). Это позволяет изучать не только естественный и нарушенный режим подземных вод, но и оценивать роль природных и искусственных факторов в формировании гидрогеологических условий месторождения в процессе его последующей отработки (в частности, выявляются

и оцениваются источники формирования водопритока, оценивается влияние водоотлива на изменение природных условий, развитие нежелательных физико-геологических явлений и процессов и т. д.).

Важнейшей задачей, решаемой на стадиях предварительной и детальной разведки, является прогноз водопритока в горные выработки. В зависимости от сложности и степени изученности гидрогеологических условий этот прогноз выполняется различными методами: гидродинамическим, моделированием, гидравлическим, балансовым, по аналогии [21]. Наиболее часто практикуются гидродинамические методы и моделирование. На основе данных о разведочном водоотливе возможен прогноз водопритока в эксплуатационные выработки гидравлическим либо совместно гидравлическим и гидродинамическим методами, при наличии аналогов — методом аналогий. Водоприток в горные выработки изменяется во времени по мере развития горных работ. При аналитических расчетах обычно дается прогноз предельного водопритока применительно к предполагаемой либо обоснованной в ТЭО (либо в проекте разработки) системе развития горных выработок, хотя возможны и поэтапные прогнозы, учитывающие изменяющиеся во времени размеры водоприемных систем, представляемых, как правило, в виде обобщенных систем с приведенным радиусом переменного размера. Размеры водоприемных систем определяются при наличии данных, исходя из площади развития горных выработок, при их отсутствии — исходя из размеров участка первоочередной отработки либо размеров месторождения с утвержденными разведанными запасами [12, 20, 21].

Осуществление разведочного водоотлива и выполняемые при этом ОФН обеспечивают надежную идентификацию расчетных фильтрационных схем и высокую достоверность выполняемых на их основе прогнозов водопритока. Для идентификации схем используют устанавливаемые с помощью ОФН особенности и закономерности пространственно-временного изменения уровня подземных вод и выполняемые на их основе оценки и определения. Так, например, неустановившийся режим фильтрации, прямолинейная полулогарифмическая временная зависимость уровня, близость параметров, определяемых в различных пунктах области возмущения, сходимость параметров, определяемых способом временного и площадного прослеживания, относительно изометричная депрессионная воронка при водоотливе — это признаки неограниченного условно однородного водоносного горизонта. Существуют и могут использоваться для идентификации соответствующие признаки и других расчетных схем [1, 5, 12, 20].

При прогнозах возможного ущерба инженерным и природным объектам за счет водоотлива обычно дается оценка снижения уровня на объектах, уменьшения расходов рек и водозаборов, сокращения сроков действия водозаборов, ухудшения мелиоративного состояния земель и т. д. Примеры и методика таких прогнозов и оценок изложены в работах [1, 5, 19, 21].

Результаты всех выполняемых в процессе разведочных работ гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, а также осуществляемые на их основе прогнозы и оценки должны найти отражение в отчетных материалах по оценке запасов полезных ископаемых. В текстовой части обязательно освещаются природные гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические условия месторождения полезного ископаемого, выполняются все необходимые в соответствии с требованиями ГКЗ СССР оценки и прогнозы (см. детально § 2) и обосновывается состав необходимых мероприятий по борьбе с водопитоками, с нежелательными физико-геологическими явлениями и процессами и по предотвращению вредного воздействия водоотлива на окружающую среду. Графические материалы, прилагаемые к отчету, должны включать различные гидрогеологические карты и разрезы в масштабах выполненных съемок и обследований, колонки скважин, профили, листы откачек, графики режимных наблюдений, результаты графоаналитической обработки ОФР и ОФН и другую необходимую графическую информацию. Особое внимание обращается на необходимость представления карт распространения основных водоносных горизонтов, их фильтрационных и емкостных свойств, химического состава, глубины залегания, карт гидроизогипс, гидроизопьез, избыточных напоров, условий питания и взаимосвязи водоносных горизонтов и др., т. е. всех тех карт и графиков, которые принимаются за основу при определении расчетных гидрогеологических параметров, квалификации граничных условий и обосновании расчетных схем при гидрогеологических прогнозах и оценках.

Эксплуатационная разведка начинается с начала горно-эксплуатационных работ, осуществляется в процессе эксплуатации месторождения и является составной частью общего геологического обслуживания шахт, рудников и карьеров. Эксплуатационная разведка служит для дальнейшей детализации сведений о составе и строении тел полезных ископаемых, условиях их промышленного освоения в целях производственного планирования добычи полезного ископаемого и управления процессом разработки месторождения с учетом требований его комплексного и рационального освоения и охраны окружающей среды. Этим же целям служат и гидрогеологические исследования, выполняемые в процессе освоения и эксплуатации месторождения специальной гидрогеологической службой или специализированными гидрогеологическими и инженерно-геологическими организациями. Опыт показывает, что экономическая эффективность горнодобывающих предприятий и обеспечение оптимальных условий их функционирования с позиций рационального и комплексного освоения природных ресурсов и охраны окружающей среды во многом зависят от правильности учета гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий месторождений в процессе их строительства и эксплуатации.

Выполняемые в стадии эксплуатационной разведки гидрогеологические и другие исследования позволяют детализировать особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, более обоснованно оценивать их влияние на условия отработки месторождения, уточнять и корректировать ранее выполненные прогнозы и принимаемые на их основе проектные решения; оптимизировать условия работы водопонижающих и осушительных систем; противофильтрационных и других мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия отработки месторождения (устойчивость горных пород в подземных выработках и откосах карьеров, безопасные условия работы людей и оборудования и т. д.); оценивать характер и степень влияния деятельности горнодобывающих предприятий на изменение гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий месторождения и другие элементы окружающей среды, выполнять обоснованные прогнозы такого влияния и на этой основе разрабатывать и осуществлять необходимые природоохранные мероприятия; оценивать возможность народнохозяйственного использования рудничных вод и намечать пути их рациональной утилизации; изучать гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические условия прилегающих частей месторождения в связи с возможностью их последующего промышленного освоения и давать необходимые гидрогеологические прогнозы, оценки и обоснования.

Вот краткий, далеко не полный и несколько обобщенный перечень задач, решаемых гидрогеологической службой в процессе эксплуатационной разведки. Этот перечень может быть детализирован с учетом конкретных природных условий рассматриваемого месторождения, принятого способа его разработки и характера возникающих при этом проблем. Наиболее важными следует признать задачи, связанные с оценкой и прогнозом влияния разработки месторождений полезных ископаемых на элементы природной среды [1, 12, 20, 23].

При разработке месторождений полезных ископаемых (особенно крупных) с эксплуатационным водоотливом или водопонижением, когда области их влияния достигают сотен и тысяч квадратных километров, а глубины отработки 1000 м и более, происходят существенные изменения гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических условий и других элементов природной среды, которые надо изучать, оценивать и учитывать не только с позиций оптимизации условий разработки месторождений, но и главным образом с позиций предотвращения вредного воздействия последствий отработки на природу и обеспечения благоприятных условий комплексного народнохозяйственного использования рассматриваемой территории и всех ее природных ресурсов (вода, земля, почвы, растительность, воздух, животный мир и условия жизни человека). Эти изменения заключаются, например, в изменении режима, условий питания, разгрузки и взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами (неста-

ционарность режима, интенсификация атмосферного питания подземных вод и процессов перетекания, изменение характера взаимосвязи подземных вод с поверхностными, привлечение поверхностного стока и т. п.); в развитии региональных депрессионных воронок, осушении вышележащих горизонтов, ухудшении мелиоративного состояния земель и условий организации водоснабжения, интенсификации процессов загрязнения подземных и поверхностных вод; в развитии нежелательных инженерно-геологических и геокриологических процессов и явлений (выветривание, суффозионные, оползневые и карстовые процессы, вторичная консолидация и депрессионное уплотнение горных пород, деформации земной поверхности, уменьшение прочности и устойчивости горных пород в горных выработках, горные удары, деградация многолетней мерзлоты, изменения ее режима и связанные с этим явления).

Немаловажное значение имеют и задачи, связанные с обеспечением благоприятных условий разработки месторождения (водопритоки, эффективность работы осушительных систем, устойчивость горных пород в эксплуатационных выработках, утилизация рудничных вод и др.). Например, изучение закономерностей формирования водопритока используется для оперативных прогнозов (путем экстраполяции установленных закономерностей во времени), наблюдения за изменением уровней, источниками и факторами обводнения — для оптимизации системы осушения и повышения эффективности работы ее отдельных элементов. Вместе с тем получаемые таким образом данные представляют большое методическое значение для совершенствования методов прогноза водопритоков и обоснования систем осушения. При открытой разработке месторождений подземные воды вызывают существенные осложнения, связанные с развитием деформаций бортов, откосов, уступов, отвалов. В частности, в откосах карьеров влияние подземных вод проявляется в изменении прочности горных пород (особенно глинистых); в изменении напряженного состояния пород за счет сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления, что находит выражение в развитии оползневых процессов; в развитии фильтрационных деформаций (механическая суффозия, оплывание, фильтрационный вынос вдоль трещин), особенно в откосах уступов песчаных пород. Специфичными также являются вопросы учета влияния водных объектов на условия подземной отработки шахтных полей, обоснования оптимальных условий разработки угольных месторождений, исключаящих горные удары и выбросы угля и газа [1, 2, 19].

Для решения всех перечисленных выше задач в стадии эксплуатационной разведки выполняются следующие виды исследований: 1) постоянная гидрогеологическая и инженерно-геологическая документация горно-проходческих и горно-эксплуатационных работ; 2) авторский надзор за осуществлением всех проектных решений по реализации системы осушения месторождения и комплектации

режимной сети; 3) стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод и многолетнемерзлых пород как по пунктам наблюдательной сети, так и в горных выработках; 4) опытно-фильтрационные наблюдения в процессе осуществления опытно-эксплуатационного водопонижения и эксплуатационного водоотлива; 5) лабораторное изучение бактериального и химического состава рудничных вод и водных объектов в зоне влияния водоотлива, а также водно-физических и физико-механических свойств горных пород, являющихся объектом гидрогеологических и инженерно-геологических оценок и прогнозов; 6) периодическое рекогносцировочное обследование (или съемки) всей территории месторождения и зоны влияния его разработки с целью осуществления наблюдений за развитием различных техногенных процессов и контроля состояния охраны окружающей среды; 7) специальные гидрогеологические, инженерно-геологические и другие исследования в целях решения специальных задач и проблем, возникающих в процессе отработки месторождения.

Основным видом гидрогеологических исследований в стадии эксплуатационной разведки являются стационарные наблюдения за нарушенным и естественным режимом подземных и поверхностных вод, которые дают информацию для решения подавляющей части гидрогеологических задач. К числу таких наблюдений следует отнести и ОФН, осуществляемые в процессе опытно-эксплуатационного водопонижения.

Опытное или опытно-эксплуатационное водопонижение практикуется на месторождениях с особо сложными природными условиями (невьясненные источники формирования водопритока, резкая фильтрационная неоднородность массива осушения и неравномерная его обводненность, не установлен характер граничных условий в плане и в разрезе, источником обводнения служит система взаимодействующих водообильных горизонтов), когда материалы разведочных работ оказываются недостаточными для обоснованного выбора схемы осушения месторождения либо имеется необходимость в опытной проверке осушительного эффекта дренажных устройств и оценке противифльтрационных мероприятий. Оно может осуществляться как после завершения основного комплекса работ на стадии детальной разведки, так и в стадию эксплуатационной разведки в целях доработки проекта разработки месторождения или его корректировки. Во всех случаях опытно-эксплуатационное водопонижение должно планироваться и осуществляться как натурный эксперимент, обеспечивающий не только проверку эффективности системы водопонижения, но и получение необходимой для доработки проекта гидрогеологической информации (определение расчетных гидрогеологических параметров, граничных условий и расчетной гидрогеологической схемы, оценка влияния водопонижения на элементы природной среды, опытное получение закономерностей формирования водопритока для уточнения гидрогеологических прогнозов и др.). Здесь следует

руководствоваться такими же принципами, как и при обработке результатов ОФН при разведочном водоотливе.

Опытно-эксплуатационное водопонижение осуществляется по специальному проекту, в котором исходя из конкретных природных условий и требований будущих горных работ обосновываются система водопонижения (число водопонижительных скважин и схема их расположения), интенсивность водопонижения и его продолжительность (обычно не менее 3—6 месяцев), схема расположения точек наблюдательной сети (устанавливается по тем же принципам, что и при разведочном водоотливе) и другие параметры системы водопонижения. Обычно водопонижительные скважины располагают по контурам участка первоочередного вскрытия с учетом схемы развития дальнейших горно-эксплуатационных работ. Другие параметры системы водопонижения (особенно ее длительность и интенсивность, состав наблюдательной сети) могут корректироваться по мере осуществления водопонижения и развития области его возмущения.

Определенную специфику имеют исследования, выполняемые при оценке влияния водных объектов на условия ведения подземных горных работ, осуществляемых под этими объектами с обрушением кровли. Этими исследованиями необходимо устанавливать гидрогеологические параметры (водопроницаемость) как ненарушенных, так и нарушенных подработкой горизонтов толщ горных пород, устанавливать мощность зоны влияния подработки и на этой основе давать прогнозы водопритоков и устанавливать допустимую глубину производства горных работ [1, 19, 21].

Специфичны также исследования, целью которых является обоснование благоприятных условий отработки угольных месторождений, исключающих горные удары, выбросы угля и газа, пыле- и газовыделения. Такие условия обеспечиваются обычно нагнетанием воды в угольные пласты через опережающие скважины с целью насыщения фильтрационного объема трещин и пор в угле водой. Обоснование таких мероприятий требует предварительного изучения и учета водно-физических свойств угля, а также таких его характеристик, как водопроницаемость пористых блоков угля, водопроницаемость угольного пласта по трещинам, активная трещинная пустотность (недостаток насыщения трещин), коэффициент упругости угля. Получение указанных характеристик требует постановки специальных опытных экспериментов в шахтах (опытные кустовые нагнетания воды) и лабораторного определения поровой водопроницаемости и коэффициента упругости угля. Детально методика и примеры решения различных гидрогеологических задач в процессе разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых изложены в специальной литературе [1—3, 5, 10—23].

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Площадь распространения многолетнемерзлых пород составляет около 50% территории СССР. На этой обширной территории в зависимости от площадного соотношения мерзлых и талых горных пород выделяют области: 1) преимущественно сплошного распространения мерзлых пород, 2) прерывистого распространения мерзлых пород, где они в различной степени пронизаны таликами, 3) островного распространения мерзлых пород, где они встречаются в виде островов среди талых пород. Мощность многолетнемерзлых пород в общем увеличивается с юга на север от единиц до сотен метров (до 600—700 м). Максимальная мощность мерзлых пород, равная 1450 м, установлена в верховьях р. Мархи на Анабарском массиве [1].

В распределении мерзлых пород по площади и в разрезе имеют значение климат, географическое положение района, его геологическая история, высотное положение, тектоника, наличие или отсутствие скоплений поверхностных и подземных вод и другие факторы. В целом степень прерывистости многолетней мерзлоты подчиняется широтной зональности, на которую накладывается вертикальная поясность, и увеличивается в направлении с севера на юг. Эта общая закономерность нарушается главным образом в горно-складчатых областях, характеризующихся контрастными дифференцированными новейшими движениями земной коры, и в меньшей мере в геологических структурах платформенного типа. В этой связи горно-складчатые регионы области многолетней мерзлоты обладают более значительными запасами и ресурсами подземных вод, чем геологические структуры платформенного типа, где условия взаимосвязи поверхностных и подземных вод существенно затруднены.

Наличие в верхней зоне литосферы промороженных горных пород и подземных вод предопределяет специфические условия формирования, распространения, питания и режима подземных вод, а также своеобразие ее инженерно-геологических условий. Влияние многолетнего промерзания земной коры на подземные воды выражается в исключении значительной части водных ресурсов из активного круговорота природных вод, изменении емкости гидрогеологических структур и пространственной сферы движения подземных вод, ухудшении условий питания подземных вод и локализации зон их питания и разгрузки, в изменении гидравлического характера и свойств подземных вод (особенно надмерзлотных), в своеобразии режима их уровня, температуры, качества и расходов и т. д.

В свою очередь и подземные воды активно воздействуют на толщи мерзлых пород, передавая им аккумулированное ими тепло

и в значительной мере определяя условия пространственного их распределения и их инженерно-геологические свойства.

Указанные особенности гидрогеологических условий и их проявления необходимо учитывать при проведении гидрогеологических исследований и изысканий для обоснования проектов строительства различных инженерных сооружений, при изучении и освоении месторождений подземных вод и решении других народнохозяйственных задач. Общие принципы и методика проведения гидрогеологических исследований остаются неизменными и аналогичными изложенным в предыдущих главах учебника. Необходимо лишь учитывать некоторые специфические особенности осуществления отдельных видов исследований, предопределяемые своеобразием мерзлотно-гидрогеологических условий [3—8].

§ 1. Основные задачи и особенности гидрогеологических исследований в области распространения многолетней мерзлоты

Одной из основных особенностей гидрогеологических исследований в области развития многолетнемерзлых пород является необходимость изучения и учета геокриологических условий. При этом важно в гораздо большей степени, чем в обычных условиях, учитывать фактор времени и температурный режим горных пород и подземных вод.

К числу основных задач геокриологических исследований относятся: определение мощности и изучение динамики сезонноталого и сезонномерзлого слоев, выявление степени прерывистости по площади и глубине толщ многолетнемерзлых горных пород и их мощности, изучение температурного поля и режима мерзлых и талых горных пород, установление общих и частных закономерностей развития многолетнемерзлых толщ, изучение типа и характера криогенных явлений, связанных с подземными водами, выявление особенностей влияния многолетней мерзлоты на условия распространения, режима, практического использования и регулирования подземных вод.

Необходимость и степень детальности изучения указанных основных характеристик зоны многолетнемерзлых пород определяются целенаправленностью выполняемых гидрогеологических исследований и характером решаемых народнохозяйственных задач.

В частности, сведения о мощности, составе и динамике сезонноталого слоя необходимы при исследовании надмерзлотных водоносных горизонтов, изучение режима и водообильности которых крайне необходимо в инженерно-строительных целях, для обеспечения устойчивости и нормальной эксплуатации линейных сооружений, промышленных и гражданских зданий и т. п. Данные о мощности и динамике сезонномерзлого слоя важны при изучении гидрогеологических условий таликов, особенно распространенных в долинах рек и нередко являющихся единственным источником водоснабжения в таких районах.

Изучение степени прерывистости многолетнемерзлых пород в плане и по глубине необходимо для выяснения условий питания и оценки перспектив использования глубоко залегающих межмерзлотных и подмерзлотных водоносных горизонтов, выявления особенностей формирования температурного режима, химического и газового состава подземных вод в различных гидрогеологических структурах, оценки возможности и условий их искусственного пополнения и решения многих других практических задач.

Изучение характера изменения мощности многолетнемерзлых пород в региональном плане крайне необходимо для познания специфики гидрогеологических условий. С этой же целью выявляются характер и мощности водоносных горизонтов и комплексов, подвергающихся промерзанию. Сопоставление мощностей мерзлых толщ и зон развития пресных вод и коры выветривания дает возможность судить о наличии в изучаемом районе горизонтов подмерзлотных подземных вод, пригодных для народнохозяйственного использования. Таким образом, геокриологические наблюдения необходимо проводить как при региональных гидрогеологических исследованиях (в процессе комплексных съемочных работ), так и при специальных изысканиях, связанных с выполнением конкретных народнохозяйственных задач.

Съемочные работы. Общие принципы и методы проведения гидрогеологической съемки достаточно детально изложены в гл. II, а специфика ее осуществления в области распространения многолетней мерзлоты — в методических руководствах [3—8].

Прежде всего следует отметить, что в составе гидрогеологической съемки на площадях развития многолетней мерзлоты преобладают геокриологические исследования, а сама съемка является, по существу, комплексной мерзлотно-гидрогеологической, призванной обеспечить изучение закономерностей пространственного распространения сезонной и многолетней мерзлоты и всестороннюю оценку ее влияния на гидрогеологические и инженерно-геологические условия изучаемой территории и особенности ее народнохозяйственного освоения и использования.

Необходимость и важность изучения мерзлотных условий территории и особенностей характера их проявления во времени определяют целесообразность поэтапного проведения съемочных работ. На первом этапе исследований обычно выявляются общие закономерности распространения многолетней мерзлоты (ее сплошность, мощность, характер, закономерности поведения и т. д.), картируются все виды криогенных образований и водопоявлений, намечаются участки для заложения в дальнейшем скважин и шурфов, проведения геофизических и других видов исследований.

На втором этапе детализируются вопросы пространственного распространения многолетней мерзлоты, ее температурного режима, особенностей взаимосвязи подземных и поверхностных вод,

взаимодействия талых, сезонномерзлых и многолетнемерзлых пород, криогенных проявлений и т. д.

На третьем этапе съемочных работ выполняются повторные маршрутные обследования и наблюдения (обычно на наиболее важных, характерных или типовых участках и объектах), осуществляются наблюдения за режимом подземных вод и многолетней мерзлоты, изучаются отдельные крупные наледы, гидролакколиты, источники и другие объекты и т. д.

Важным моментом съемочных работ в области распространения многолетней мерзлоты является выбор времени для проведения полевых исследований. Следует учитывать, что наиболее четко естественные выходы подземных вод (особенно глубокого залегания) проявляются в конце зимы и в самом начале весны (до начала снеготаяния), когда поверхностные и надмерзлотные воды, маскирующие и перекрывающие эти выходы, максимально промерзают. Поэтому изучение выходов подмерзлотных подземных вод в зимнее и весеннее время дает наиболее достоверную информацию об их свойствах, ресурсах и химическом составе. Указанный период времени, наступающий обычно в феврале и заканчивающийся в апреле, принято называть критическим, и именно этот период следует использовать для изучения и картирования непромерзающих источников подмерзлотных вод и образованных ими наледей, а также для повторных обследований. В более ранний период надмерзлотные воды нередко приобретают временный криогенный напор, вызванный промерзанием их верхней части, и их выходы ошибочно могут быть приняты за выходы подмерзлотных вод.

Важно также отметить, что сезонные колебания дебита, напора, температуры и химического состава воды источников в области распространения многолетнемерзлых пород часто бывают существенно более контрастными, чем у источников вне этой области. Поэтому здесь желательны систематические круглогодичные гидрогеологические наблюдения за их режимом. В крайнем случае наблюдения должны проводиться зимой (в период наибольшего промерзания) и осенью (в период наибольшего протаивания). Для определения возможности использования вод источника для водоснабжения обязательны круглогодичные наблюдения.

Важной особенностью изучения подземных вод области многолетней мерзлоты является необходимость более детального исследования их температурного режима, так как изменение температуры здесь может привести не только к изменению качества подземных вод, но и к изменению их фазового состояния, объема и условий их эксплуатации. Поэтому в данной области следует проводить наблюдения за действующими источниками и водозаборами, режимом и условиями их эксплуатации (особенно в периоды наибольшего промерзания и оттаивания пород) и т. д.

Существенную информацию о гидрогеологических условиях района исследований дает изучение наледей, таликов, режима по-

верхностных водотоков, мерзлотных бугров, гидролакколитов, провальных форм, заболоченных участков и других специфических проявлений и объектов. Интерпретация материалов такого изучения позволяет выявлять и уточнять закономерности распространения и режима подземных вод, условия их питания и разгрузки, а также перспективы их народнохозяйственного использования. В частности, наледи подземных вод фиксируют выходы их на поверхность (источники) и являются показателем водообилия данного района (особенно в горных областях). Наиболее крупные наледи обычно фиксируются в зонах тектонических нарушений или контактов пород различного возраста и состава. Исследование динамики роста наледей может использоваться для количественной оценки дебитов питающих их источников (на основе проведения крупномасштабной топографической съемки и другими способами).

Талики на площади многолетнемерзлых пород являются областями питания или разгрузки подземных вод, а отдельные их типы (подрусловые) могут служить наиболее надежными источниками водоснабжения. В этой связи выявление таликов, их оконтуривание и оценка водоносности представляется важной и сложной задачей гидрогеологических исследований. Для этих целей применяются методы дешифрирования аэрофотоснимков (по микрорельефу, растительности и другим признакам), геофизические методы (электропрофилирование, электротондирование, сейсморазведка и микросейсморазведка), изучение режима температуры и химического состава поверхностных водотоков, наземная гидрогеологическая съемка (особенно в критический период и период максимального оттаивания), проходка разведочных выработок.

Изучение режима уровней, температуры и химического состава вод поверхностных водоемов и водотоков, характера их ледяного покрова и образующихся наледей способствует выявлению таликов, условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод и решению других гидрогеологических задач. Указанные виды исследований в районах водотоков дополняются бурением по поперечным створам разведочных скважин и проведением геофизических работ (электропрофилирование и электротондирование).

Существенное повышение эффективности мерзлотно-гидрогеологической съемки достигается за счет широкого применения аэрометодов [3, 7]. Изучение особенностей состава, свойств и закономерностей распространения мерзлых толщ, особенностей геокриологической и гидрогеологической обстановки и решение некоторых других задач мерзлотно-гидрогеологических исследований осуществляется на основе дешифрирования аэрофотоматериалов с использованием косвенных признаков проявления мерзлотно-гидрогеологических факторов (микрорельеф, наледи, полины, источники, заболоченность, геоботанические индикаторы, геоморфологические и другие показатели) и непосредственных аэровизуальных наблюдений.

Материалы аэровизуальных наблюдений, дешифрирования аэрофотоснимков и их проверки, выполняемые для ключевых участков, служат основой для построения мерзлотно-гидрогеологических карт для всей изучаемой территории. На выделенных ключевых участках обычно изучаются: 1) литологические особенности и температурный режим деятельного слоя и слоя годовых колебаний температуры; 2) мощность и условия распространения мерзлой зоны на площади и в разрезе; 3) тенденция развития мерзлоты во времени; 4) геолого-литологическое строение, криогенные условия и значения температур мерзлых пород; 5) криогенные образования; 6) закономерности распространения и мощности таликов, условия их возникновения и динамики развития; 7) над-, меж- и подмерзлотные воды и их взаимосвязь; 8) мерзлотно-гидрогеологическая зональность; 9) достоверность и эффективность используемых при дешифрировании аэрофотоматериалов признаков и показателей. Выполняемые исследования обеспечивают обоснованную экстраполяцию выявленных закономерностей и особенностей мерзлотно-гидрогеологических условий на всю площадь типовых районов и участков. Для обеспечения контроля и повышения достоверности получаемой информации аэровизуальные наблюдения и аэрофотосъемки проводят в наиболее характерные для изучаемого района периоды времени и практикуют их повторность.

Высокая эффективность аэрофотосъемок и аэровизуальных наблюдений при гидрогеологических исследованиях в области распространения многолетней мерзлоты и особенно в труднодоступных высокогорных районах подтверждена многолетним опытом проведения исследований на обширных площадях многих арктических районов, а также на строительстве Байкало-Амурской железно-дорожной магистрали [1, 2, 7].

Наблюдения за режимом подземных вод и температурным режимом горных пород — важнейшая составная часть выполняемых мерзлотно-гидрогеологических исследований. Они необходимы при решении разнообразных инженерно-гидрогеологических задач (при водно-тепловых мелиорациях земель, водоснабжении, различных видах строительства и т. д.).

В результате выполняемых исследований изучается температурное поле горных пород и его динамика по сезонам года на участках с разнообразными природными условиями: 1) исследуют величину и закономерности распределения температуры в плане и по глубине; 2) мощность зоны колебаний температуры; 3) величину и характер изменения геотермического градиента и другие показатели.

Наиболее надежные данные о режиме температуры мерзлых пород получают на основе замеров температуры в специально оборудованных термометрических скважинах при условиях, исключающих нарушение естественного теплового поля многолетне-мерзлых и сезоннооттаивающих пород.

Наблюдения за режимом подземных вод ведутся по сети наблюдательных пунктов, включающей наблюдательные скважины типовых участков, источники, поверхностные водотоки, действующие водозаборные и дренажные сооружения. Они по возможности должны быть систематическими, круглогодичными и выполняться в комплексе с климатическими и гидрогеологическими наблюдениями. Общие принципы осуществления этих наблюдений остаются аналогичными изложенным в гл. V.

Специфика наблюдений за режимом подземных вод в области распространения многолетнемерзлых пород определяется возможностью замерзания воды в скважинах. Замерзание воды в скважинах предотвращают заполнением стволов наблюдательных скважин соляной или рассолом, периодическим прогревом паром, горячей водой, электронагревательными приборами, прокачкой скважин и т. д.

При изучении режима источников необходимо учитывать следующие особенности: а) образование наледи, на которую расходуется часть или даже полностью вода источника; б) непостоянство условий выхода и расхода воды в течение года; в) миграцию струй воды источника по склону местного понижения или по площади наледи; г) некоторое увеличение дебита источника в весеннее время за счет таяния наледи; д) изменение минерализации и состава подземных вод в связи с их частичной кристаллизацией при движении в теле наледи; е) неоднородность и изменчивость во времени минерализации и химического состава льда как по площади, так и в вертикальном разрезе, связанных с концентрированием и дифференциацией компонентов общей минерализации в процессе замерзания воды, растекающейся по поверхности наледи; ж) динамичность системы талик — мерзлая порода, обусловленная значением конвективного теплопотока источника и температурой мерзлых и талых пород и ее изменением под воздействием климатических условий [5].

Для выявления роли каждого из перечисленных и других природных факторов на режим подземных вод проводится комплекс исследований, включающих соответствующие наблюдения в скважинах, пройденных на площади талика и на прилегающих мерзлых породах, на участке выхода источника, вблизи русла или речной поймы, гидрометрические замеры расходов воды выше и ниже источника, систематические наблюдения за границами наледи путем проведения через 10—20 сут ледяных съемок, промерзанием или оттаиванием водоносного талика и каналов в теле наледи, замерзанием воды на поверхности наледи, вызывающим изменение не только ее (воды) минерализации и состава, но также химического состава самой наледи. Поэтому необходимо обращать особое внимание на методику отбора проб воды и льда на химические анализы. Наиболее достоверны осредненные данные по нескольким пробам воды или льда, отобранным на разном удалении от излияния воды на поверхность наледного тела.

Геофизические исследования. На практике наиболее часто с применением геофизических методов решаются задачи картирования мерзлых пород, установления границ мерзлых толщ в вертикальном разрезе и изучении литологических особенностей мерзлых толщ. Значительное различие мерзлых и талых горных пород по удельному сопротивлению, зависимость удельного сопротивления мерзлых пород от их литологических особенностей и криогенного строения позволяют решать перечисленные задачи методами электроразведки. Так, методом электропрофилирования выявляются и оконтуриваются талики среди толщ мерзлых горных пород, а также острова мерзлых пород на площади талых пород, обнаруживаются перелеты и новообразования мерзлых пород, формирующиеся в пределах термокарстовых форм, речных островов и т. п., картируются повторно-жильные льды и подземные льдообразования иного генезиса, толщ мерзлых горных пород различных литологических особенностей и криогенного строения, устанавливаются глубины залегания верхней границы мерзлой зоны. Результаты электропрофилирования контролируют методом ВЭЗ.

Электропрофилирование, равно как и исследования другими геофизическими методами, всегда должно предшествовать бурению скважин. Такая последовательность работ позволяет в значительной мере сокращать объем бурения, а следовательно, и более экономично решать поставленные задачи.

Некоторые мерзлотно-гидрогеологические задачи успешно решаются другими геофизическими методами. Например, методы сейсморазведки позволяют установить толщину деятельного слоя, мощность многолетнемерзлых пород и реже нижнюю границу мерзлой зоны. Методами скважинной геофизики (см. гл. VIII, § 1) можно определять (или уточнять) положение границ мерзлых и талых пород, особенности геолого-литологического строения, распределение льдистости, влажности и другие показатели мерзлых горных пород.

При решении задач различного содержания материалы геофизических исследований должны быть тщательно увязаны с результатами мерзлотно-гидрогеологической съемки.

§ 2. Особенности разведки и эксплуатации месторождений подземных вод в области многолетней мерзлоты

Месторождения подземных вод области многолетней мерзлоты характеризуются своеобразными условиями их распространения, режима питания и разгрузки. Ниже кратко рассмотрены некоторые особенности разведки и эксплуатации месторождений подземных вод области многолетней мерзлоты применительно к решению задач водоснабжения. Однако многие из них, особенно касающиеся специфики проведения отдельных видов работ и ис-

следований, применимы и при изысканиях для решения других народнохозяйственных задач.

Среди месторождений подземных вод области распространения многолетней мерзлоты (как отдельного своеобразного типа) выделяют следующие подтипы месторождений [4]: 1) подземных вод таликов в речных долинах; 2) подмерзлотных вод артезианских бассейнов платформенного типа; 3) подмерзлотных вод межгорных артезианских бассейнов; 4) подземных вод в ограниченных по площади структурах или массивах трещинных и трещинно-карстовых пород и зонах тектонических нарушений; 5) подземных вод подоцерных и подаласных таликов.

Перспективными для организации централизованного водоснабжения являются месторождения подземных вод таликов речных долин с постоянным стоком, переуглубленных речных долин, подмерзлотных вод межгорных артезианских бассейнов, крупных подоцерных и подаласных таликов, а также массивов трещинно-карстовых пород. Основным фактором, определяющим значимость месторождений подземных вод области многолетней мерзлоты, является наличие благоприятных условий для формирования их эксплуатационных запасов (наличие таликов, связь с поверхностными водами, инфильтрация осадков и поглощение поверхностного стока и т. п.). Поэтому и значимость месторождений возрастает при переходе от зоны сплошного и прерывистого распространения мерзлоты к зоне ее островного распространения [1, 2, 4, 6].

При выявлении месторождений подземных вод всех указанных подтипов следует учитывать особенности проведения поисково-съемочных работ и других видов исследований, определяемые спецификой мерзлотно-гидрогеологических условий области многолетней мерзлоты (см. § 1 настоящей главы).

В состав поисковых и разведочных работ при изучении месторождений подземных вод области многолетней мерзлоты входят широко применяемые в обычной гидрогеологической практике виды и методы исследований: гидрогеологическая съемка (с упором на проведение комплекса мерзлотно-гидрогеологических исследований), бурение скважин (главным образом по поперечникам и профилям, реже по сетке), геофизические методы разведки (электронзондирование, электропрофилирование, сейсморазведка, электрокаротаж, радиокип), стационарные гидрогеологические наблюдения за режимом подземных вод и мерзлых пород, гидрогеологическое опробование источников и скважин (особенно в критические периоды), лабораторные и камеральные работы. Проведение некоторых видов работ и исследований имеет определенную специфику (частично она освещена выше), учет которой обеспечивает более целенаправленное и эффективное осуществление разведки и эксплуатации месторождений подземных вод области распространения многолетней мерзлоты.

Разведочные скважины бурят по поперечникам (на подоцерные талики по сетке, нередко со льда), ориентированным нормаль-

но к разведваемым водовмещающим структурам. Глубина скважин при разведке надмерзлотных вод обычно не превышает 20—50 м, на подмерзлотные воды может достигать 600 м и более в зависимости от мощности многолетнемерзлых пород. Бурение скважин в мерзлых породах желательно осуществлять без промывки, с продувкой ствола сжатым воздухом, либо с промывкой водой (нередко подсоленной и охлажденной). Бурение вскрытых подмерзлотных водоносных пород выполняется обычным способом. При бурении скважин помимо общепринятых гидрогеологических наблюдений (см. гл. III, § 3) ведутся наблюдения за температурой входящей и выходящей промывочной жидкости, немедленный после извлечения осмотр керна, описываются характер и виды льдистости, отбираются пробы льда на химический анализ и т. д. Особое внимание уделяется изучению пород в зоне контактов мерзлых и талых толщ, что способствует правильному решению вопроса о взаимовлиянии водоносных горизонтов и мерзлых пород.

Откачки из скважин, пройденных в многолетнемерзлых породах, особенно при большой их мощности и низкой температуре, должны проводиться интенсивно и по возможности без перерывов. Перед началом откачки рекомендуется прогреть ствол скважины циркулирующей горячей водой или паром. Откачки для определения водообильности и фильтрационных свойств следует проводить в критический период с помощью эрлифтов.

При бурении скважин, их опробовании или эксплуатации, особенно при вскрытии низкотемпературных межмерзлотных и подмерзлотных вод и положении уровня воды в интервале мерзлых пород следует предусматривать мероприятия, предохраняющие скважины от перемерзания. Особенно важно это осуществлять при перерывах в бурении или откачке, в простаивающих или наблюдательных гидрогеологических скважинах. В зависимости от допустимой степени нарушения естественного режима подземных вод, целевого назначения выполняемых работ или исследований и других факторов применяются следующие способы борьбы с замерзанием воды в скважинах: долив в скважину подогретой воды, засоление столба воды в скважине, прогрев ствола скважины паром или электрообогревателем, залив в скважину незамерзающего дизельного топлива, разбуривание ледяных пробок, механическое разрушение их или оттаивание, устройство над скважиной тепляка и т. д.

На рис. 57 приведена схема оборудования в скважине противообледенительной колонны с электрообогревателями, наиболее приемлемая с позиций охраны подземных вод от загрязнения.

Мероприятия по предотвращению замерзания воды в трубах следует предусматривать и при проектировании различного рода трубопроводов для подачи и отведения воды. Не менее важно учитывать инженерно-геологические условия по трассе трубопровода, особенно в связи с возможным нарушением естественного температурного режима мерзлых пород, их периодическим оттаи-

ванием и развитием неблагоприятных для условий строительства явлений (протаивание, просадка, оползни, пучение, наледи и т. д.).

Для оценки эксплуатационных запасов месторождений подземных вод области многолетней мерзлоты можно пользоваться общепринятыми методами: гидродинамическим, гидравлическим, моделированием, методом аналогии, комбинированными.

Вследствие сезонного изменения гидрогеологических показателей (положения мерзлых водоупорных толщ, величин напоров и питания подземных вод, характера границ и граничных условий водоносных горизонтов, режима подземных вод и т. д.) возникают определенные трудности в составлении достаточно обоснованных и достоверных расчетных схем. Во избежание их следует практиковать применение моделирования и комбинированных методов оценки эксплуатационных запасов подземных вод. В сложных гидрогеологических условиях оценка эксплуатационных запасов выполняется гидравлическим методом с длительными опытно-эксплуатационными откачками с дебитом, близким к проектному, в критические для изучаемого месторождения периоды времени.

При выборе и обосновании методов оценки эксплуатационных запасов подземных вод следует учитывать опыт и приемы расчетов, разработанные для аналогичных по условиям формирования запасов месторождений подземных вод, расположенных вне области многолетней мерзлоты. Так, расчеты по оценке эксплуатационных запасов грунтовых надмерзлотных вод, частично перемерзающих зимой (месторождения первого и второго подтипов), можно проводить аналогично тому, как это практикуется для месторождений частично пересыхающих речных долин; для оценки запасов подмерзлотных вод дочетвертичных пород платформенных областей можно пользоваться методами, апробированными на месторождениях подземных вод артезианских бассейнов платформенных областей (и, в частности, гидродинамическими) и т. д.

В силу затрудненных условий питания и восполнения эксплуатационных запасов на месторождениях подземных вод области многолетней мерзлоты (чаще первых трех подтипов) обычно наблюдается существенная сработка их естественных запасов с резким снижением уровня подземных вод, особенно в критические периоды. Для таких месторождений целесообразна организация искусственного пополнения запасов. Особенно эффективны схемы искусственного пополнения запасов для месторождений ограни-

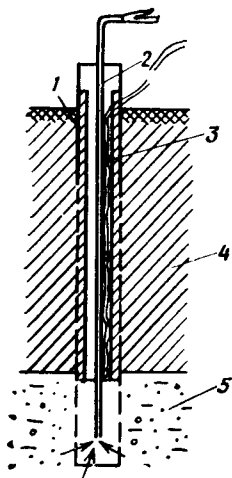


Рис. 57. Схема противобледнительного электронагревательного устройства в скважине:

1 — обсадная колонна труб, 2 — рабочая колонна труб, 3 — электронагреватели, 4 — многолетнемерзлые породы, 5 — водоносный горизонт

ченной естественной емкости (подрусловых и подозерных таликов, замкнутых или частично замкнутых артезианских бассейнов межгорного типа и др.). Искусственное пополнение в летнее время осуществляется различными способами: перевод поверхностных вод в подземные через поглощающие скважины, колодцы, шахты, шурфы, инфильтрационные бассейны; создание новых или расширение существующих таликов с заполнением их поверхностным стоком; регулирование температурного и гидродинамического режимов подземных вод на участке их эксплуатации и т. д.

Применение искусственного пополнения существенно расширяет возможности организации водоснабжения и повышает экономическую эффективность народнохозяйственного использования подземных вод месторождений области многолетней мерзлоты.

Глава I

1. Агошков М. И., Астафьева М. П., Маутина А. А. Экономическая оценка эффективности геологоразведочных работ. М., 1980, 173 с.
2. Бирюков В. И., Куличихин С. Н., Трофимов Н. Н. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., 1979. 399 с.
3. Бондаренко С. С., Кононов В. М. Методика определения технико-экономических показателей разработки подземных вод//Тр. «Гипротюмнефтегаз». М., 1971. С. 36—40.
4. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. М., 1984. 358 с.
5. Гавич И. К., Семенова С. М., Швеиц В. М. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М., 1981. 160 с.
6. Инструкция по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод. М., ГКЗ СССР, 1985. 28 с.
7. Каменский Г. Н. Поиски и разведка подземных вод. М., 1947. 313 с.
8. Лубенский Л. А. Временные методические рекомендации по оценке эффективности разведки пресных подземных вод. М., 1977. 43 с.
9. Овчинников А. М. Минеральные воды. М., 1963. 375 с.
10. Плотников Н. И. Поиски и разведка пресных подземных вод. М., 1985. 368 с.
11. Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов// Материалы I Всесоюзной гидрогеологической конференции. Т. I. М., 1982. 431 с.
12. Экономика геологоразведочных работ/Под ред. М. И. Агошкова. М., 1985. 359 с.

Глава II

1. Богданов Г. Я., Кононов В. М. Вопросы гидрогеологической стратификации//Известия высших учебных заведений. Сер. «Геология и разведка». 1975, № 2. С. 99—104.
2. Гудилин И. С., Комаров И. С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М., 1978. 319 с.
3. Методические рекомендации по организации и проведению групповых гидрогеологических съемочных работ масштаба 1 : 200 000. М., 1981. 48 с.
4. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. М., 1972. Вып. I—3. 473 с.
5. Методическое руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. М., 1961. 320 с.
6. Методическое руководство по обоснованию объемов и комплексированию современных методов исследований при гидрогеологической и инженерно-геологической съемке для целей мелиорации. — М.: Недра, 1979. Вып. IV. 195 с.
7. Методические указания по гидрогеологической съемке на закрытых территориях в масштабах 1 : 500 000, 1 : 200 000 и 1 : 50 000. М., 1968. 176 с.
8. Методические рекомендации по применению материалов радиолокационной аэросъемки при инженерно-геологических съемках масштабов 1 : 200 000—1 : 500 000. М., 1981. 63 с.
9. Методические рекомендации по применению материалов космфотосъемки при региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. М., 1982. 83 с.

10. Принципы гидрогеологической стратификации//Труды. Вып. 148. М., 1982. 107 с.

11. Справочное руководство гидрогеолога. Л.; 1979. В 2-х т. 807 с.

Глава III

1. Башкатов Д. Н., Роговой В. Л. Бурение скважин на воду. М., 1976. 208 с.
2. Башкатов Д. Н., Тесля А. Г. Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М., 1970. 145 с.
3. Башкатов Д. Н., Сулакишин С. С., Драхлис С. Л. Справочник по бурению скважин на воду. М., 1979. 560 с.
4. Васильевский В. Н., Петров А. И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., 1973. 342 с.
5. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры буровых скважин. М., 1976. 345 с.
6. Гринбаум И. И. Расходомерия гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. М., 1975. 270 с.
7. Госстрой СССР. СНиП II.04.02—84. Водоснабжение Наружные сети и сооружения. М., 1985. 136 с.
8. Опыт-фильтрационные работы/Под ред. В. М. Шестакова и Д. Н. Башкатова. М., 1974. 204 с.
9. Петров А. И. Глубинные приборы для исследования скважин. М., 1980.
10. Плотииков Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. — М.: Недра, 1979. 272 с.
11. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. Л., 1979. 295 с.

Глава IV

1. Боровский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., 1979. 326 с.
2. Васильевский В. Н., Петров А. И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., 1973. 344 с.
3. Гавич И. К., Семенова С. М., Швеи В. М. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М., 1981. 160 с.
4. Гринбаум И. И. Расходомерия гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. М., 1975. 270 с.
5. Кац Д. М., Шестаков В. М. Мелноративная гидрогеология. М., 1981. 296 с.
6. Керкис Е. Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. М., Л., 1975. 231 с.
7. Климентов П. П., Кононов В. М. Динамика подземных вод. М., 1985. 384 с.
8. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелноративного строительства. Вып. 1—3. М., 1972. 130 с.
9. Мироненко В. А. Динамика подземных вод. М., 1983. 357 с.
10. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Теория и методы интерпретации опытн-фильтрационных работ. М., 1978. 325 с.
11. Опытн-фильтрационные работы/Под ред. В. М. Шестакова и Д. Н. Башкатова. М., 1974. 202 с.
12. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки. М., 1981. 127 с.
13. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. Л., 1979. 295 с.
14. Чураев Н. В., Ильин Н. И. Радиониндикаторные методы исследования движения подземных вод. М., 1973. 176 с.
15. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., 1979. 368 с.
16. Шестаков В. М., Пашковский И. С., Сойфер А. М. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях. М., 1982. 244 с.

Глава V

1. *Гидрогеологические исследования в горном деле*/Под ред. В. А. Мироненко. М., 1976. 352 с.
2. *Ковалевский В. С.* Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. М., 1973. 152 с.
3. *Коноплянцев А. А., Семенов С. М.* Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М., 1979. 192 с.
4. *Лебедев А. В.* Методы изучения баланса грунтовых вод. М., 1976. 223 с.
5. *Методические рекомендации по изучению режима температуры подземных вод.* М., 1973. 122 с.
6. *Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства.* Вып. 2. М., 1972. 200 с.
7. *Методическое руководство по изучению режима подземных вод в районах водозаборов.* М., 1968. 197 с.
8. *Методические указания по производству наблюдений за режимом температуры подземных вод.* М., 1982. 44 с.
9. *Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика.* Новосибирск, 1983. 240 с.
10. *Принципы размещения сети гидрогеологических наблюдательных пунктов в естественных и нарушенных условиях (методические рекомендации).* М., 1974. 87 с.
11. *Справочное руководство гидрогеолога*/Под ред. В. М. Максимова. Л., 1979. Т. 2. 295 с.

Глава VI

1. *Вода питьевая.* Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2874—82. Стандартгиз, 1983. 7 с.
2. *Воды минеральные, питьевые, лечебные и лечебно-столовые.* ГОСТ 13273—73. М., 1975. 33 с.
3. *Гавич И. К., Лучишева А. А., Семенова-Ерофеева С. М.* Сборник задач по общей гидрогеологии. М., 1985. 412 с.
4. *Гавич И. К., Семенова С. М., Швец В. М.* Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М., 1981. 160 с.
5. *Гидрогеология*/Под ред. В. М. Шестакова и М. С. Орлова. М., 1984. 317 с.
6. *Крайнов С. Р., Швец В. М.* Основы геохимии подземных вод. М., 1980. 285 с.
7. *Мироненко В. А., Шестаков В. М.* Основы гидрогеомеханики. М., 1974. 296 с.
8. *Перечень действующих нормативно-технических документов в области гидрогеологии и инженерной геологии.* М., 1982. 83 с.
9. *Резников А. А., Муликоская Е. П., Соколов И. Ю.* Анализ природных вод. — М.: Недра, 1970. 488 с.
10. *Справочное руководство гидрогеолога.* Т. 1 и 2. Л., 1979. 807 с.
11. *Чаповский Е. Г.* Лабораторные методы по грунтоведению и механике грунтов. М., 1975. 304 с.

Глава VII

1. *Булдей В. Р.* Моделирование гидромелиоративных систем. Киев, 1973. 199 с.
2. *Гавич И. К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М., 1980. 358 с.
3. *Гавич И. К.* Применение моделирования к обработке гидрогеологической информации. М., 1971. 96 с.
4. *Жернов И. Е., Шестаков В. М.* Моделирование фильтрации подземных вод. М., 1971. 226 с.
5. *Жернов И. Е., Павловец И. Н.* Моделирование фильтрационных процессов. Киев, 1976. 192 с.

6. Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М., 1976. 407 с.
7. Мироненко В. А. Динамика подземных вод. М., 1983. 357 с.
8. Рекомендации по применению современных математических методов к решению гидрогеологических задач при инженерных изысканиях. М., 1974. 135 с.
9. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., 1979. 368 с.
10. Шестаков В. М., Кравченко И. П., Пашиковский И. С. Практикум по динамике подземных вод. М., 1975. 270 с.

Глава VIII

1. Гудилин И. С., Комаров И. С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М., 1978. 319 с.
2. Дубинчук В. Т., Шустов В. М. Измерения при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. М., 1984. 191 с.
3. Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. Л., 1972. 184 с.
4. Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М., 1980. 285 с.
5. Мелькановицкий И. М., Ряполова В. А., Хордикайнен М. А. Методика геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных вод/Под ред. А. А. Огильви. М., 1982. 239 с.
6. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., 1973. 184 с.
7. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии (методическое руководство). М., 1972. 296 с.
8. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. Новосибирск, 1982. 286 с.
9. Радиоизотопные методы исследования в инженерной геологии и гидрогеологии/Под ред. В. И. Ферронского. М., 1977. 304 с.
10. Справочное руководство гидрогеолога/Под ред. В. М. Максимова. Т. 2. Л., 1979. 295 с.
11. Справочное руководство по применению ядерных методов в гидрологии. М., 1971. 256 с.
12. Фролов Н. М. Гидрогеотермия. М., 1976. 280 с.

Главы IX—X

1. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. М., 1974. 480 с.
2. Белицкий А. С., Дубровский В. В. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. М., 1974. 256 с.
3. Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1970. 216 с.
4. Бочеввер Ф. М. Теория и практические методы расчета эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1968. 328 с.
5. Бочеввер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е. Защита подземных вод от загрязнения. М., 1979. 254 с.
6. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2874—82.
7. Гольдберг В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М., 1984. 262 с.
8. Госстрой СССР. СНиП II.04.02—84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., 1985. 136 с.
9. Дробноход Н. И., Язвин Л. С., Боровский Б. В. Оценка запасов подземных вод. Киев, 1982. 301 с.
10. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод. М., ГКЗ СССР, 1985. 28 с.
11. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. М., ГКЗ СССР, 1983. 11 с.
12. Кононов В. М. Сопоставление экономической эффективности вариантов

разработки месторождений подземных промышленных вод//Изв. вузов. Сер. «Геология и разведка». 1966. № 5. С. 109—112.

13. Кононов В. М. Принципы определения экономической эффективности искусственного пополнения подземных вод. М.// Водные ресурсы. 1974. № 4. С. 128—133.

14. Мелькановицкий И. М., Ряполова В. А., Хордикайнен М. А. Методика геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных вод/Под ред. А. А. Огильви. М., 1982. 239 с.

15. Методическое руководство по разведке и оценке эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М., 1979. 132 с.

16. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения/Под ред. И. К. Гавич. М., 1985. 320 с.

17. Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик. М., Известия советов депутатов трудящихся СССР, 1971. 30 с.

18. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. Новосибирск, 1983. 238 с.

19. Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах. М., Известия советов депутатов трудящихся СССР. 1975. 39 с.

20. Плотноков Н. И. Поиски и разведка пресных подземных вод. М., 1985. 368 с.

21. Плотноков Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., 1973. 296 с.

22. Плотноков Н. И., Плотноков Н. А., Сычев К. И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М., 1978. 311 с.

23. Плотноков Н. И., Краевский С. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. М., 1983. 283 с.

24. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения/Под ред. Н. Н. Биндемана. М., 1969. 328 с.

25. Проектирование водозаборов подземных вод/Под ред. Ф. М. Бочевера. М., 1976. 292 с.

26. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., 1983. 102 с.

27. Справочное руководство гидрогеолога/Под ред. В. М. Максимова. Т. 1 и 2. Л., 1979. 807 с.

Глава XI

1. Бондаренко С. С., Кононов В. М. Методика определения технико-экономических показателей разработки подземных вод/Тр. ГИПРОТЮМЕННЕФТЕГАЗ, 1971. Вып. V. С. 36—40.

2. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. М., 1984. 358 с.

3. Вартамян Г. С., Яроцкий Л. А. Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод (методическое руководство). М., 1972. 127 с.

4. Воды минеральные питьевые, лечебные и лечебно-столовые. ГОСТ 13273—73. М., 1975. 33 с.

5. Дворов И. М. Глубинное тепло земли. М., 1972. 206 с.

6. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод (методическое пособие). М., 1971. 244 с.

7. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям минеральных вод. М., ГКЗ СССР, 1979. 28 с.

8. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям промышленных вод. М., ГКЗ СССР, 1979. 50 с.

9. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям термальных вод. М., ГКЗ СССР, 1979. 56 с.

10. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. М., ГКЗ СССР, 1983. 12 с.

11. Методические рекомендации по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов термальных вод. М., 1982. 121 с.

12. Основы гидрогеологии. Методы гидрогеологических исследований. Новосибирск, 1984. 214 с.
13. Справочное руководство гидрогеолога/Под ред. В. М. Максимова. Л., 1979. 512 с.
14. Тесля А. Г. Вскрытие пластов и опробование скважин при бурении на минеральные воды. М., 1983. 158 с.
15. Фролов Н. М. Гидрогеотермия. М., 1976. 280 с.

Главы XII—XIII

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М., 1982. 237 с.
2. Барон В. А. Методическое руководство по обоснованию и комплексированию современных методов исследований при гидрогеологической и инженерно-геологической съемке для целей мелиорации. М., 1979. Вып. IV. 195 с.
3. Булдей В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем. Киев, 1973. 198 с.
4. Жернов И. Е., Солдак А. Г., Куц П. Ю., Гриза О. О. Мелиоративная гидрогеология. Киев, 1972. 332 с.
5. Зузик Д. Т. Экономика водного хозяйства. М., 1973. 399 с.
6. Инструкция по гидрогеологическим и инженерно-геологическим изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства (ВСН-И-2—76). М., 1976.
7. Кац Д. М., Шестаков В. М. Мелиоративная гидрогеология. М., 1981. 296 с.
8. Маккавеев А. А. Методическое руководство по гидрогеологическим исследованиям в зоне избыточного увлажнения в связи с осушением болот и заболоченных земель. М., 1967. 248 с.
9. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. М., 1972. Вып. 1—3. 466 с.
10. Методические рекомендации по применению гидрогеохимических методов для целей мелиорации. М., 1981. 78 с.
11. Шестаков В. М., Пашковский И. С., Сойфер А. М. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях. М., 1982. 244 с.
12. Штепа Б. Г. Технический прогресс в мелиорации. М., 1983. 238 с.

Глава XIV

1. Валукоис Г. Ю., Ходьков А. Е. Роль подземных вод в формировании месторождений полезных ископаемых. Л., 1978. 216 с.
2. Васильевский В. Н., Петров А. И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., 1973. 344 с.
3. Гаттенбергер Ю. П., Дьяконов В. П. Гидрогеологические методы исследований при разведке и разработке нефтяных месторождений. М., 1979. 207 с.
4. Донцов К. М. Разработка нефтяных месторождений. М., 1977. 360 с.
5. Каналин В. Г., Ованесов М. Г., Шугрин В. П. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология. М., 1985. 247 с.
6. Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М., 1972. 280 с.
7. Корценштейн В. Н. Методика гидрогеологических исследований нефтегазоносных районов. М., 1976. 309 с.
8. Крайнов С. Р., Швеиц В. М. Основы геохимии подземных вод. М., 1980. 285 с.
9. Соколов В. Л., Фурсов А. Я. Поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений. М., 1984. 296 с.
10. Сухарев Г. М. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М., 1979. 349 с.

Глава XV

1. Абрамов С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., 1973. 280 с.
2. Абрамов С. К., Газизов М. С., Костенко В. М. Защита карьеров от воды. М., 1976. 230 с.
3. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Гидрогеология СССР, сводный том. М., 1973. Вып. 4. 278 с.
4. Водопонижение в строительстве/Под ред. И. К. Станченко. М., 1971. 182 с.
5. Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений/Под ред. Е. С. Карпышева. М., 1972. 376 с.
6. Маменко Г. К. Камская плотина на реке Кама//Сб. Геология и плотины. М., 1967. Т. V. С. 9—38.
7. Маменко Г. К. Плотина Волжской ГЭС им. XII съезда КПСС, на р. Волге//Сб. Геология и плотины. М., 1972. Т. VI. С. 54—79.
8. Маменко Г. К., Федоров Д. В. Основное направление гидрогеологических исследований при изысканиях под гидротехническое строительство//Тр. Гидропроекта. М., 1972. Сб. 23. С. 194—201.
9. Опыт и методика изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий крупных водохранилищ. Ч. 2 и 3. М., 1961. 360 с.
10. Солодухин М. А. Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства. М., 1975. 188 с.
11. Справочник по общестроительным работам. Инженерные изыскания в строительстве. М., 1975. 480 с.
12. Строительное водопонижение в сложных гидрогеологических условиях/Н. С. Болотских и др. Киев, 1976. 112 с.

Главы XVI—XVII

1. Белицкий А. С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких отходов в недра Земли. М., 1976. 145 с.
2. Временные методические указания по проведению геологоразведочных работ при проектировании подземных шахтных хранилищ нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов. Л., 1976. 38 с.
3. Временные указания по проектированию и строительству подземных хранилищ в отложениях каменной соли (для нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов). СН-320—65. М., 1965. 44 с.
4. Гаев А. Я. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности. Л., 1981. 167 с.
5. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты (методические указания)/Под ред. К. И. Антоненко и Е. Г. Чаповского. М., 1976. 312 с.
6. Инструкция по проведению геологоразведочных работ при проектировании и строительстве подземных хранилищ нефти, нефтепродуктов, сжиженных и природных газов в каменной соли (ИГР-ПХС—78). Л., 1979. 45 с.
7. Миронов Е. А. Закачка промысловых сточных вод в продуктивные и поглощающие горизонты. М., 1971. 171 с.
8. Справочное руководство гидрогеолога/Под ред. В. М. Максимова. Л., 1979. Т. 2. 295 с.

Глава XVIII

1. Гидрогеологические исследования в горном деле/Под ред. В. А. Мироненко. Л., 1976. 352 с.
2. Гидрогеологические исследования при разведке карьерных угольных полей (методические рекомендации). Ростов-на-Дону, 1974. 27 с.
3. Грабовников В. А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. М., 1983. 120 с.
4. Гуревич А. Е. Практическое руководство по изучению движения подземных вод при поисках полезных ископаемых. Л., 1980. 216 с.

5. *Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых* (методическое руководство). М., 1969. 408 с.
6. *Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке*. Мингео СССР, 1975.
7. *Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ СССР технико-экономических обоснований кондиций на минеральное сырье*. М., ГКЗ СССР. 1984. 24 с.
8. *Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям железных руд*. М., ГКЗ СССР, 1983. 40 с.
9. *Каждан А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки. М., 1984. 285 с.
10. *Климентов П. П., Овчинников А. М.* Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых. Ч. I. М., 1966. 200 с.
11. *Климентов П. П., Сыроватко М. В.* Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых. Ч. 2. М., 1966. 377 с.
12. *Методические рекомендации по проведению гидрогеологических исследований на стадии детальной разведки месторождений полезных ископаемых*. М., ВИМС, 1981. 91 с.
13. *Методическое руководство по инженерно-геокриологическим и гидрогеологическим работам при разведке рудных месторождений на Крайнем Севере*. Коллектив авторов. М., 1972. 208 с.
14. *Мироненко В. А.* Динамика подземных вод. М., 1983. 357 с.
15. *Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений*. М., 1983. 199 с.
16. *Пересунько Д. И.* Изучение режима шахтных (рудничных) и подземных вод на месторождениях твердых полезных ископаемых (методические указания). М., 1968. 80 с.
17. *Плотников Н. И., Сыроватко М. В., Щеголев Д. И.* Подземные воды рудных месторождений. М., 1957. 614 с.
18. *Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах*. М., 1972. 196 с.
19. *Руководство по дренированию карьерных полей*. Ч. I—IV. ВНИИ, 1968. 382 с.
20. *Самсонов Б. Г., Рогожина М. А., Епихина Г. А.* Расчет притока подземных вод в горные выработки. М., 1983. 40 с.
21. *Справочное руководство гидрогеолога/Под ред. В. М. Максимова*. Л., Т. I. 512 с.
22. *Фесенко Г. Л., Мироненко В. А.* Дренаж карьерных полей. М., 1972. 184 с.
23. *Ясько В. Г.* Гидрогеология месторождений полезных ископаемых Сибири. М., 1978. 200 с.

Глава XIX

1. *Вельмина Н. А.* Особенности гидрогеологии мерзлой зоны литосферы (крио-гидрогеология). М., 1970. 327 с.
2. *Гидрогеология СССР*. Якутская АССР. Т. 20. М., 1970. 383 с.
3. *Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 200 000 и 1 : 500 000/Под ред. В. А. Кудрявцева, К. А. Кондратьевой и Н. И. Труши*. М., 1970. 354 с.
4. *Методические рекомендации по разведке и оценке эксплуатационных запасов подземных вод на территории распространения многолетнемерзлых пород*. М., 1981. 71 с.
5. *Общее мерзлотоведение/Под ред. П. И. Мельникова и Н. И. Толстихина*. М., 1974. 292 с.
6. *Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения/Под ред. Н. Н. Биндемана*. М., 1969. 328 с.
7. *Протасьева И. В.* Аэрометоды в геокриологии. М., 1967. 196 с.
8. *Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования*. М., 1961. 423 с.
9. *Сотников А. Б.* Гидрогеологические прогнозы при строительстве в суровых климатических условиях. М., 1984. 80 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Анализы химические** 192
— — типы 193
Аэрофотоснимки, дешифрирование 53
Аэрофотосъемка 53
- Баланс подземных вод** 159, 339
— — — методы изучения 173
Бассейны нефтегазоносные 343
Бурение 74
— поисковое и картировочное 63
— способы 76
- Водоотдача гравитационная** 187
Водоотлив разведочный 416
Водопонижение опытно-эксплуатационное 422
— строительное 372
Водоснабжение методы исследований 231
— особенности исследований 240, 246
Воды подземные качество 195, 263, 320
— — нефтегазовых месторождений 350
— — минеральные 286
— — промышленные 287
— — термальные 287
Возмущение характер и степень 134
- Графики** изменения уровня типовые 116
— прослеживания 119
Горизонты, поглощающие выбор 377
- Дешифрирование аэрофотоснимков** 53
Документация гидрогеологическая 96, 101
- Зависимость Хабберта** 349
Загрязнение источники 265
Задание геологическое 33
Задачи гидрогеологические обратные 202
— — обобщенные 202
— — прямые 202
Закачка опытно-промышленная 386
Запасы эксплуатационные 240
— — категории 241
— — методы оценки 243
Затраты нормативные удельные 37
- Информация гидрогеологическая** 26
— — виды 27
Исследования геокриологические 62, 425
— геофизические 66, 208, 214
— гидрогеологические глубинность 47
— — комплекс рациональный 21, 44
— — лабораторные 184
— — нефтегазопромысловые 346
— — нефтегазопромысловые 350
— — планирование 30
— — стадийность 18, 233
— — эффективность 35
— гидрохимические 69, 223
— палеогидрогеологические 228
— радиогидрогеологические 69, 227
— ядерно-физические 220
- Карта ландшафтно-индикационная** 47
— оценочная 51
Карты гидрогеологические 44
— — обзорные 73
— — режима подземных вод 177
— — специальные 72
Контакт газовой 352
Коэффициент пористости 186
— проницаемости 188
— пьезопроводности 189
— уровень проводности 189
Критерии гидрогеологические нефтегазопромысловые 346
- Лизиметры** 174
- Месторождения подземных вод** особенности 11
— — — группировка по сложности условий 253
— — — типизация 246
— — минеральных вод типизация 296
— — промышленных вод типизация 298
— — термальных вод типизация 302
— твердых полезных ископаемых задачи изучения 404
Метод гидрогеохимических поисков 225
— ландшафтно-индикационный 47
— подбора 111, 127
— эталонной кривой 111
Методы геофизические наземные 211
— космические 230
— математические 29
— определения направления и скорости фильтрации 154
— — параметров 103
— — — аналитические 121
— — — геофизические 104
— — — графоаналитические 112
— — — лабораторные 103
— — — по данным режимных наблюдений 180
— увеличения водообильности скважин 282

— прогнозов режима подземных вод 177

Моделирование фильтрации подземных вод 197

— — — — — виды 203

— — — — — применение 201

— — — — — требования к исходным данным 206

— — — — — этапы 199

Наблюдения геоботанические 61

— геологические 57

— геоморфологические 56

— гидрогеологические 57

— — при бурении скважин 96

— — при горных работах 101

— гидрологические 60

— за режимом подземных вод 66

— инженерно-геологические 63

— наземные визуальные 55

Нагнетания опытные в скважины 141

— — воздуха 143

Наливы опытные в скважину 142

— — — шурфы 143

— по способу Биндемана 147

— — — Болдырева 144

— — — Гириного 146

— — — Нестерова 145

Оборудование водоподъемное 88

— для опытных нагнетаний 89

Обоснование технико-экономическое 307, 361

Объекты исследований гидрогеологических 25, 33

Опробование горизонтов опережающее 85, 149

— — раздельное 85

Откачки групповые 107, 124

— кустовые 107

Откачки методика проведения 129

— одиночные 107

— опытные 106

— опытно-эксплуатационные 107

— пробные 106

Сценка качества подземных вод 263, 320

— технико-экономическая 257

Охрана санитарная подземных вод 269

Параметры гидрогеологические 105, 180

— — обобщенные 129

План пообъектный 35

— поэтапный 34

Приборы для опробования 90, 93

Принцип наименьших затрат времени 22

— — трудовых и материальных затрат 21

— полноты исследования 16

— последующих приближений 18

— равномерности изучения месторождения 20

— рационального и комплексного использования природных ресурсов 22

Принципы общие проведения исследований 15

— оптимизации гидрогеологических исследований 21

Прослеживание временное 115

— комбинированное 119

— площадное 119

Работы камеральные 70

— лабораторные 69

— опытно-фильтрационные 65, 103

Разведка детальная 237, 384, 412

— предварительная 235, 382, 409

— эксплуатационная 239, 419

Расходомерия скважин 151, 218

Расчеты технико-экономические 257

Режим подземных вод 159

— — естественный 163

— — методы изучения 161

— — нарушенный 167

— — прогноз и картирование 176

Сеть наблюдательная виды 167, 320

Система гидрогеологическая 25

Скважины гидрогеологические категории 75

— — особенности конструктивные 78, 136

Сопротивление дополнительное фильтрационное 127, 183

Стратификация гидрогеологическая 49

Съемки гидрогеологические виды 39

— — задачи 39, 43

— — периоды проведения 51

— — содержание 43

Уравнение баланса грунтовых вод 174

— — балансовое эксплуатационных запасов 245

Участок эксплуатационный 13

Хранилища нефтегазовые подземные 388

— — — шахтные 397

Шурфование 63

Эффективность экономическая 36, 279, 340

Экспресс-опробование 149

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
<i>Часть первая. Основные методы гидрогеологических исследований</i> . . .	10
<i>Глава I. Основные виды, структура и стадийность гидрогеологических исследований. Общие принципы их проведения</i>	10
§ 1. Понятие о месторождениях подземных вод и особенностях их изучения	11
§ 2. Общие принципы проведения гидрогеологических исследований . .	15
§ 3. Виды и методы получения и обработки гидрогеологической информации	25
§ 4. Основные виды и структура гидрогеологических исследований . .	28
§ 5. Планирование гидрогеологических исследований	30
§ 6. Эффективность гидрогеологических исследований	35
<i>Глава II. Гидрогеологическая съемка и гидрогеологические карты</i>	38
§ 1. Виды и задачи гидрогеологической съемки	39
§ 2. Содержание гидрогеологической съемки и методы ее проведения	43
§ 3. Характеристика исследований, выполняемых в составе гидрогеологической съемки	53
§ 4. Гидрогеологические карты	70
<i>Глава III. Гидрогеологические наблюдения при геологоразведочных работах. Технические средства, применяемые при гидрогеологических исследованиях</i>	74
§ 1. Основные требования к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин	74
§ 2. Технические средства и приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях	87
§ 3. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин	96
§ 4. Гидрогеологические наблюдения при проведении горных работ . .	101
<i>Глава IV. Полевые опытно-фильтрационные работы</i>	103
§ 1. Основные виды полевых опытно-фильтрационных работ, их задачи и условия применения	104
§ 2. Методы определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек	106
§ 3. Методика организации и проведения откачек	129
§ 4. Методика организации и проведения опытных нагнетаний и наливов в скважины и шурфы	138
§ 5. Экспресс-опробование водоносных горизонтов	149
§ 6. Определение направления и скорости движения подземных вод .	154
<i>Глава V. Изучение режима и баланса подземных вод</i>	158
§ 1. Режим и баланс подземных вод, цели и задачи их изучения . . .	159
§ 2. Методы изучения режима подземных вод	161
§ 3. Методы изучения баланса подземных вод	173
§ 4. Прогноз и картирование режима подземных вод	176
§ 5. Определение гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод	180

Глава VI. Лабораторные гидрогеологические исследования	184
§ 1. Лабораторные методы изучения водных, физических и фильтрационных свойств горных пород	185
§ 2. Лабораторное изучение физических свойств, химического, газового и бактериологического составов вод	190
§ 3. Вопросы методики отбора проб воды для лабораторных исследований и оценка качества подземных вод.	194
Глава VII. Моделирование фильтрации подземных вод	197
§ 1. Моделирование как метод гидрогеологических исследований	197
§ 2. Типы гидрогеологических задач, решаемых с применением моделирования	202
§ 3. Требования к методике гидрогеологических исследований и исходным данным для моделирования	206
Глава VIII. Геофизические, гидрохимические, радиогидрогеологические и другие виды исследований	208
§ 1. Геофизические методы при гидрогеологических исследованиях	209
§ 2. Ядерно-физические методы исследований	220
§ 3. Гидрохимические исследования	223
§ 4. Радиогидрогеологические и другие виды исследований	227
Часть вторая. Методика гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач	231
Глава IX. Гидрогеологические исследования для целей водоснабжения.	231
§ 1. Стадийность и задачи гидрогеологических исследований	233
§ 2. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей водоснабжения	239
§ 3. Техничко-экономические обоснования при гидрогеологических исследованиях для целей водоснабжения	257
Глава X. Гидрогеологические исследования для целей охраны и пополнения запасов подземных вод	262
§ 1. Гидрогеологические исследования в связи с оценкой и прогнозом качества подземных вод	263
§ 2. Гидрогеологическое обоснование зон санитарной охраны водозаборов подземных вод	269
§ 3. Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод	271
§ 4. Принципы технико-экономического обоснования целесообразности и эффективности искусственного пополнения запасов подземных вод	279
§ 5. Основные методы увеличения и восстановления водообильности скважин	282

<i>Глава XIII.</i> Гидрогеологические исследования в связи с осушением земель	329
§ 1. Задачи и стадийность гидрогеологических исследований для целей осушения	330
§ 2. Особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей осушения	332
§ 3. Экономическая эффективность мелиораций	340
<i>Глава XIV.</i> Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений	342
§ 1. Гидрогеологические особенности основных типов нефтегазоводоносных бассейнов и месторождений нефти и газа	343
§ 2. Гидрогеологические исследования при поисках нефтяных и газовых месторождений	346
§ 3. Гидрогеологические исследования при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений	350
<i>Глава XV.</i> Гидрогеологические исследования для целей строительства гидротехнических и других инженерных сооружений	356
§ 1. Общие положения проведения изысканий для различных видов строительства	357
§ 2. Гидрогеологические исследования для целей гидротехнического строительства	360
§ 3. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей гидротехнического строительства	366
§ 4. Гидрогеологические исследования для целей промышленного и гражданского строительства	369
§ 5. Гидрогеологические исследования для целей строительного водопонижения	372
<i>Глава XVI.</i> Гидрогеологические исследования в связи с подземным захоронением промышленных стоков	375
§ 1. Требования, предъявляемые к выбору поглощающих горизонтов для захоронения промышленных стоков	377
§ 2. Задачи и методы гидрогеологических исследований для обоснования подземного захоронения сточных вод	380
<i>Глава XVII.</i> Гидрогеологические исследования в связи с созданием подземных газонефтехранилищ	388
§ 1. Геологическое строение и гидрогеологические условия участков, пригодных для строительства подземных хранилищ	388
§ 2. Гидрогеологические исследования при проектировании и строительстве подземных хранилищ природного газа в водоносных горизонтах	391
§ 3. Гидрогеологические исследования при проектировании подземных хранилищ в отложениях каменной соли	394