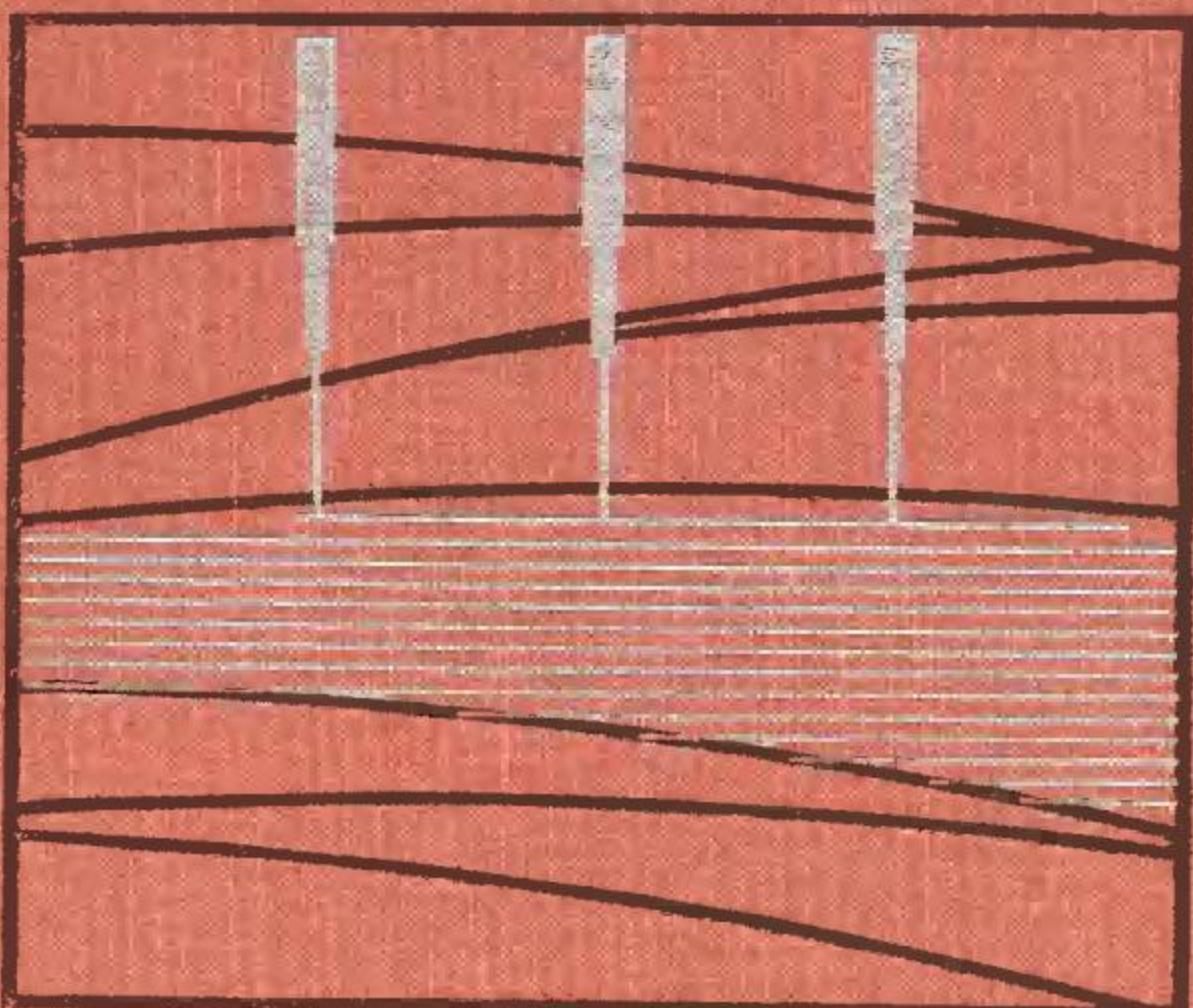


П. П. КЛИМЕНТОВ
В. М. КОНОНОВ

МЕТОДИКА
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



П. П. КЛИМЕНТОВ,
В. М. КОНОНОВ

МЕТОДИКА
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов
вузов, обучающихся по специальности
«Гидрогеология и инженерная геология»



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

552(07)
К48

Рецензенты книги: кафедры гидрогеологии и инженерной геологии
Томского политехнического института им. С. М. Кирова
и Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко

Климентов П.П., Кононов В. М.

К48 Методика гидрогеологических исследований: Учебник для
геологоразведочных и горных вузов и факультетов.— М.:
Высш. школа, 1978, 408 с., ил.
В пер. 1 р 30 к

В учебнике рассмотрены общие принципы изучения месторождений подземных вод и охарактеризованы основные виды современных гидрогеологических исследований, вопросы методики гидрогеологических исследований при решению конкретных народнохозяйственных задач: водоснабжения, искусственного пополнения и охраны подземных вод, поисков, разведки и эксплуатации месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод, орошения, осушения и др.
Учебник может быть полезен специалистам, работающим в области поисков и разведки подземных вод и выполняющим гидрогеологические исследования для решения других задач.

К $\frac{20806-150}{001(01)-78}$ 72-78

552(07)

© Издательство «Высшая школа», 1978 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

В основном законе СССР — Конституции сказано, что в интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, растительного и животного мира, сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды.

Большая роль в деле охраны окружающей среды отводится науке. В соответствии с потребностями общества, сказано в Конституции СССР, государство обеспечивает планомерное развитие науки и подготовку научных кадров, организует внедрение результатов научных исследований в народное хозяйство и другие сферы жизни.

В соответствии с директивными решениями партии и правительства гидрогеологии наряду с другими науками геологического цикла отводится весьма существенное значение в обеспечении минерально-сырьевой базы страны и ускорении научно-технического прогресса, в широком развитии гидротехнического, гражданского, промышленного и других видов строительства, в сфере рационального ведения водного хозяйства страны, широкого развития оросительных и осушительных мелиораций и неуклонного роста сельскохозяйственного производства, в вопросах охраны природы и эффективного и разумного использования ее недр.

Успешное и эффективное решение специалистами-гидрогеологами поставленных перед гидрогеологической наукой народнохозяйственных задач невозможно без знания ими основных методов и приемов изучения гидрогеологических условий, без овладения научными основами и принципами обоснования рационального комплекса исследований и методики их проведения.

Со времени издания учебного пособия «Методика гидрогеологических исследований» (П. П. Климентов, 1961), обобщающего вопросы методики гидрогеологических исследований, прошло 17 лет. За это время в развитии гидрогеологии как науки достигнуты весьма значительные успехи как в области теоретического развития ее основ, так и, в особенности, в области ее практического применения. В частности, получили свое дальнейшее развитие и совершенствование методы поисков, разведки и геолого-промышленной оценки месторождений пресных, минеральных, промышленных и термальных подземных вод, методы изучения режима и баланса подземных вод, их искусственного пополнения и регулирования; приемы и методы изучения гидрогеологических условий и гидрогеологического обоснования проектов орошения, осушения, гидротехнического, промышленного и дру-

гих видов строительства, разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа и многие другие методические вопросы. Появились многочисленные разработки, монографии и другие публикации по дальнейшему развитию и обобщению опыта проведения отдельных видов гидрогеологических исследований опытно-фильтрационных работ, моделирования, наблюдений за режимом подземных вод, палеогидрогеологических, гидрохимических, ядерно-физических и других методов исследований. Все это указывает на настоятельную необходимость освещения новейших научно-методических достижений и опытных исследований в гидрогеологической учебной литературе.

Авторы учебника поставили своей целью дать систематическое изложение научных основ методики гидрогеологических исследований и основных принципов обоснования и проведения рационального комплекса исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач (водоснабжения, орошения, осушения, гидротехнического, промышленного и гражданского строительства, поисков, разведки и разработки месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод, нефти и газа, твердых полезных ископаемых и т. д.) с учетом современных достижений советской и зарубежной гидрогеологии и требований практики в области подготовки специалистов-гидрогеологов.

Учебник составлен в соответствии с действующей программой по курсу «Методика гидрогеологических исследований» для студентов специальности 0107 «Гидрогеология и инженерная геология».

При составлении учебника широко использованы действующие методические разработки по вопросам проведения гидрогеологических исследований, а также опубликованные работы Г. Н. Каменского, А. И. Силина-Бекчурина, С. К. Абрамова, Н. А. Плотникова, А. М. Овчинникова, Н. И. Плотникова, Н. Н. Биндемана, П. П. Климентова, Ф. М. Бочевера, Н. Н. Веригина, И. В. Гармонова, А. В. Лебедева, И. А. Скабаллановича, А. А. Маккавесса, В. А. Мироненко, Н. В. Роговской, В. М. Шестакова, В. Н. Щелкачева, С. С. Бондаренко и многих других советских ученых.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам кафедр гидрогеологии и инженерной геологии Киевского государственного университета и Томского политехнического института за их критические замечания и советы, высказанные при рецензировании рукописи учебника.

Авторы выражают также глубокую признательность профессорам Д. Н. Башкатову, А. А. Карцеву, Д. М. Кацу, Л. С. Язвину, кандидатам геолого-минералогических наук П. И. Калашникову, В. Б. Сохранскому, Е. Г. Чаповскому, К. А. Чернявской, Е. Н. Ярцевой, Г. Я. Богданову, А. М. Крысенко, инженерам Б. М. Зильберштейну, Г. К. Маченко за замечания и пожелания, высказанные ими при ознакомлении с содержанием отдельных глав учебника на завершающем этапе подготовки рукописи к печати.

Отзывы и замечания, способствующие дальнейшему повышению качества учебника, просим направлять по адресу: 103912, Москва, Центр-3, просп. Маркса, д. 18, Московский ордена Трудового Красного Знамени геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе, кафедра гидрогеологии и радиогидрогеологии.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Методика гидрогеологических исследований — учение о методах и приемах изучения гидрогеологических условий, выявления месторождений подземных вод и оценки их ресурсов, застасов, режима, качества и особенностей движения подземных вод в целях решения различных народнохозяйственных задач. Это учение — один из основных разделов современной гидрогеологической науки, изучающей подземные воды 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. Показательно, например, что общее потребление воды в мире составляет в настоящее время 8—9 млрд. т в сутки (одна пятая этой потребности удовлетворяется за счет подземных вод), в то время как общее потребление всех других полезных ископаемых — около 8—9 млрд. т в год.

При этом 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 необходимости всестороннего изучения природы и удовлетворения многосторонних требований практики гидрогеология выросла в своеобразную самостоятельную науку, приведенную 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 как своеобразием и богатством содержания, так и, главным образом, разнообразием и спецификой методов исследований и важностью решаемых крупных 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 предусмотрен-

ных 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) гидрохимические 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.

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 и др.

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.

Наиболее значительное развитие получили поиски и разведки подземных вод для водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Первоначально гидрогеологические работы в этой области носили характер обоснования постановки бурения артезианских скважин или же научных обобщений данных о буровых на воду скважинах. Первые такие работы появились в России примерно в середине XIX в. в связи с бурением артезианских скважин в Крыму и других местностях. В конце XIX в. проводились детальные гидрогеологические работы по разведке подземных вод (исследования в районе с. Б. Мытищи для расширения московского водопровода, исследования для целей водоснабжения г. Петербурга).

В южных районах подземные воды изучались не только для водоснабжения, но и для орошения засушливых земель.

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 (С. Н. Никитич, Н. А. Соколов и др.). Исследования эти 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.

Следует отметить, что 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. По степени гидрогеологической изученности территории наша страна вышла на первое место в мире. Небывало широкий размах получили гидрогеологические исследования, направленные на решение самых разнооб-

ричных народнохозяйственных задач, разрабатываются и совершенствуются научные основы и методика их проведения.

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. Толстухина, М. Е. Альтовского, Н. К. Гиринского, Н. К. Игнатовича, а также работы зарубежных гидрогеологов К. Кейльгака, Ч. Слихтера, Г. Гефера, Е. Принца, В. Кепе и др.

Существенный вклад в дальнейшее развитие методов гидрогеологических исследований внесли Г. Н. Каменский, Н. Н. Бинденман, С. К. Абрамов, Н. А. Плотников, Н. И. Плотников, П. П. Климентов, Ф. М. Бочевер, А. М. Овчинников, 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 г. Под таким же наименованием в 1955 г. вышел учебник для геологоразведочных техникумов Г. В. Богомолова и А. И. Силина-Бекчурина. 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.

За прошедшие со времени выпуска учебного пособия для вузов 17 лет в гидрогеологии достигнуты весьма 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 различных 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 осно-

вы и методы изучения режима подземных вод, а также методы машинной обработки массовой информации, широко внедряются математические методы при обосновании долгосрочных прогнозов режима подземных вод, начались 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 важнейших практических 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. При этом особое внимание уделяется совершенствованию методов изучения и региональной оценки гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых, а также прогноза этих условий и комплексного решения проблемы рационального освоения минеральных и водных ресурсов при проектировании разработки месторождений. Получили дальнейшее развитие радиогидрогеологические и гидрохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

За последние годы в СССР выполнены крупные региональные гидрогеологические исследования, позволившие покрыть более половины всей территории страны гидрогеологической съемкой масштабов 1:500 000 и 1:200 000. На основе обобщения материалов всех съемочных работ составлены и опубликованы новые гидрогеологические карты СССР и отдельных регионов, завершена много летняя капитальная работа по составлению 45-томной монографии «Гидрогеология СССР», начато теоретическое обобщение материалов монографического описания. Результаты регионального монографического описания позволяют раскрыть общие закономерности формирования и распространения на территории СССР пресных, минеральных, промышленных и термальных подземных вод и являются надежной научной основой для дальнейшего теоретического развития всех разделов гидрогеологии, а самое главное —

для более эффективного, целенаправленного проведения гидрологических исследований и изысканий при решении разнообразных народнохозяйственных задач.

На современном этапе в условиях широкого и повсеместного развития гидротехнического и мелиоративного 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 искусственноному пополнению запасов подземных вод. Важность и необходимость осуществления таких мероприятий вытекают из специальных постановлений Советского правительства, а также инструкций и требований соответствующих органов Министерства геологии СССР и Министерства здравоохранения СССР, 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 глубоком 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 исследования родственных наук, в свою очередь обогащая их методами гидрогеологического анализа, расширяя и углубляя их содержание.

В последние годы, как уже отмечалось выше, 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 решению поставленных перед современной гидрогеологической наукой важнейших народнохозяйственных задач в сфере водоснабжения, орошения, осушения, охраны природы и рационального использования ее ресурсов.

Выполнение этих важнейших народнохозяйственных задач специалистами-гидрогеологами невозможно без знания основных методов и приемов изучения гидрогеологических условий, без владения 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, включающей восемь глав, рассмотрены общие принципы изучения месторождений подземных вод и охарактеризованы основные виды современных гидрогеологических исследований; во второй (десять глав) освещены особенности и методика проведения гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава I

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Изучение подземных вод осуществляется в целях решения самых разнообразных научных и практических задач: обычно подземные воды разведуются 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 гидрохимических 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, 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 народнохозяйственного использования, Г. Н. Каменский предложил называть по аналогии с другими видами полезных ископаемых «водными месторождениями» (7). Применительно к минеральным и промышленным водам учение о месторождениях подземных вод развивали А. М. Овчинников и Н. А. Плотников. Дальнейшее развитие учения о месторождениях подземных вод осуществлено в работах Н. Н. Биндермана (3), С. С. Бондаренко (6), Н. И. Плотникова (10), Л. С. Язвина и других исследователей. Тем не менее даже в трактовке такого основополагающего термина, как «месторождение подземных вод», у многих авторов нет единства, что свидетельствует о необходимости дальнейшего развития и совершенствования учения о месторождениях подземных вод. В настоящее время в гидрогеологии отмечается дифференцированное развитие учения о месторождениях подземных вод применительно к пресным, минеральным, промышленным и термальным подземным водам.

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 происходит накопление подземных вод, в количественном и качественном отношении обеспечивающее целесообразное их использование в народном хозяйстве*. Близкая к этому определению формулировка приведена в работе Н. И. Плотникова (10). 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 паряду с аспектами количественной оценки и экономической целесообразности народнохозяйствен-

ного 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 поискам и разведке подземных вод стали проводиться в государственном масштабе, а эксплуатационные запасы начали утверждаться в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ). В последние годы только по линии Министерства геологии СССР затраты на поиски и разведку подземных вод достигали 55—60% от общих госбюджетных ассигнований по отрасли «Гидрогеология».

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.

Месторождения подземных вод, так же как и месторождения других видов полезных ископаемых, имеют свои контуры в плане и в 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. Биндерману (3), 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 копдиционных 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 предопределены 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 эксплуа-

тации 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 разведенных конкретных перспективных площадях.

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 своей динамики подземные воды быстро воспринимают влияние окружающей их среды (на месторождениях 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 количества 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 фильтрации 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 количество 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 запасов подземных вод, их 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 ($\text{в м}^3/\text{сут}$), обеспечиваемый в течение всего расчетного срока эксплуатации месторождения (25—30 лет). В силу отмеченных выше 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 обеспечивающихся 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 свойств водовмещающих отложений (водопроводимости, 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, разведке 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.

На каждой конкретной площади гидрогеологические исследования должны быть выполнены с учетом природных условий изучаемого месторождения подземных вод и характера проявления его специфических особенностей применительно к решению поставлен-

ной задачи (водоснабжение, орошение, осушение, строительство и т. д.).

Имеющая место общность месторождений подземных вод с месторождениями других полезных ископаемых дает основание для использования при их поисках и разведке общих принципов геологоразведочного дела (4). Тем не менее даже применение этих общих принципов требует творческого подхода и учета всех специфических особенностей подземных вод как своеобразного полезного ископаемого.

§ 2. Общие принципы проведения гидрогеологических исследований

Основными задачами поисково-разведочных на подземные воды работ независимо от характера их народнохозяйственного использования и значения являются следующие: выявление условий формирования и распространения месторождений подземных вод, их геолого-структурных, гидродинамических, гидрохимических 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 либо их регулировании и удалении; обоснование и разработка системы мероприятий по наиболее комплексному и рациональному использованию в народном хозяйстве водных и других минерально сырьевых ресурсов.

Эти задачи в своей 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 на подземные воды работ могут быть положены, как уже отмечалось выше, общие принципы геологоразведочного дела, разработанные и внедренные 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 в полной мере к поисково-разведочным работам на подземные воды указывал Г. Н. Каменский (7). Однако рассмотрение общих принципов геологоразведочного процесса применительно к месторождениям подземных вод имеет место лишь в некоторых работах Н. И. Плотникова (10).

К числу общих принципов, отражающих основы проведения геологоразведочных работ, предъявляемые к ним требования и объективные закономерности процесса позиания, относятся следующие: 1) полнота исследований; 2) последовательность приближений; 3) равномерность изучения месторождений, 4) наименьшие трудовые и материальные затраты; 5) наименьшие затраты времени; 6) рациональное и комплексное использование 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 выражение 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.

Нижеперечисленные принципы рассматриваются применительно к изучению месторождений подземных вод.

Принцип полноты исследования. Этот принцип 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 обусловливают 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 использовании вод месторождения.

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 предлагаемого 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. На отдельных месторождениях для правильной и обоснованной оценки качества и запасов подземных вод требуется изучать соответствующие показатели смежных в разрезе водоносных горизонтов или поверхностных вод, т. е. внешнюю по отношению к рассматриваемому месторождению среду и ее проявления. При этом особое внимание следует уделять попутному изучению слабоминерализованных, минеральных и других типов вод. Это необходимо не только для определения общей промышленной ценности изучаемого месторождения, но и для попутной оценки других месторождений подземных вод в районе работ.

Прицип 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 паряду с основным и других полезных ископаемых является обязательным 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. Вообще полнота исследования месторождения должна быть достаточной для правильного и эффективного решения поставленной задачи и оценки общих перспектив целесообразности освоения месторождения.

Принцип последовательных приближений. Сущность этого принципа заключается в постепенном наращивании знаний о месторождении по мере последовательного его изучения, поскольку получить за короткий срок все необходимые и достоверные сведения о месторождении практически невозможно. В силу естеств-

венной необходимости изучение месторождений должно осуществляться последовательно (поэтапно). 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 принципа последовательных приближений находит в стадийности проведения геологоразведочных работ, которая, как правило, регламентируется действующими нормативно-законодательными актами и положениями и является единой для геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые и подземные воды (имеют место расхождения лишь в названии отдельных подстадий).

В соответствии с действующей инструкцией по планированию в целях обеспечения максимальной эффективности все геологоразведочные работы на подземные воды должны проводиться по следующим стадиям: 1) региональные геолого-геофизические и гидрогеологические работы масштабов 1 : 500 000—1 : 50 000; 2) поиски месторождений подземных вод; 3) предварительная разведка; 4) детальная разведка; 5) разведка эксплуатируемых месторождений (эксплуатационная разведка).

Региональные геолого-геофизические и гидрогеологические работы проводятся для комплексного геологического изучения территории СССР или отдельных ее регионов в целях общей оценки перспектив проведения дальнейших геологоразведочных работ, текущего и перспективного их планирования, определения прогнозных запасов подземных вод и выявления перспективных для проведения поисково-разведочных работ водоносных структур и горизонтов.

При проведении гидрогеологических работ в региональном плане, когда задачий по водопотреблению отдельных объектов может и не быть, в процессе планомерного гидрогеологического картирования выявляются и оконтуриваются перспективные площади распространения водоносных горизонтов и устанавливаются контуры месторождений подземных вод, осуществляется региональная оценка их прогнозных естественных и эксплуатационных запасов, выделяются площади, перспективные для проведения дальнейших поисково-разведочных работ.

Поиски месторождений подземных вод (поисково-съемочные исследования) осуществляются как при проведении региональных гидрогеологических работ (в процессе планомерного государственного гидрогеологического картирования территории СССР, обычно в масштабах 1 : 500 000 и 1 : 200 000), так и в процессе специальных поисковых работ, осуществляемых с целью обеспечения, например, водоснабжения конкретных объектов.

При конкретном задании, когда решаются вопросы обеспечения водой определенных водопотребителей, поисково-съемочные

работы имеют своей целью выявить и оконтурить перспективные для организации водоснабжения и постановки разведочных работ месторождения, площади или участки и дать ориентировочную оценку запасов, качества и условий эксплуатации подземных вод.

Разведочные работы в пределах выявленных месторождений и их перспективных площадей имеют своей целью обеспечить их геолого-промышленную оценку, т. е. выявить качество и количество формирующихся в их пределах эксплуатационных запасов подземных вод и определить гидрогеологические, санитарные и технико-экономические условия их народнохозяйственного использования.

Эксплуатационная разведка осуществляется в пределах эксплуатируемых месторождений подземных вод в процессе строительства и эксплуатации водозаборных сооружений. Ее задача — контроль и обеспечение наиболее рациональных условий промышленного освоения запасов подземных вод.

Если подземные воды изучаются не как полезное ископаемое, а как фактор, требующий их учета и регулирования при проектировании разнообразных инженерных сооружений, 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 28 мая 1969 г. «Об улучшении проектно-сметного дела» проектирование народнохозяйственных объектов осуществляется в две стадии: технический проект и рабочие чертежи. В простых природных условиях проектирование должно быть одностадийным — технический проект, совмещенный с рабочими чертежами (технорабочий проект). В сложных природных условиях или при проектировании крупных объектов может возникнуть необходимость в проведении гидрогеологических исследований для составления технико-экономических обоснований целесообразности проектирования и строительства намечаемых объектов, либо для составления плана (схемы) народнохозяйственного освоения того или иного региона (района). Ориентировочно можно полагать, что для гидрогеологического обоснования и обеспечения решения задач, соответствующих этапу технико-экономического обоснования и стадиям проектирования технический проект и рабочие чертежи, требуется проведение гидрогеологических исследований, соответствующих по своей последовательности и значению следующим их установленным стадиям: поисково-съемочной, предварительной разведке и детальной разведке.

Стадийность гидрогеологических исследований для каждого конкретного объекта обосновывается в зависимости от сложности природных условий изучаемой территории, степени их изученности, крупности, важности и сложности проектируемого объекта или мероприятий и других факторов. При выполнении работ для одних инженерных сооружений возможно объединение стадий

гидрогеологических исследований либо их исключение; для других — требуется полное и обязательное проведение гидрогеологических исследований по всем установленным стадиям, а иногда может возникнуть даже необходимость в дополнительных внестадийных исследованиях.

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

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

Принцип равномерности предусматривает более детальные исследования 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.

Принцип равномерности 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 бы-

ли 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 получаемых в процессе исследований результатов.

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.

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 методов исследований (гидрогеологических, буровых, геофизических, гидрометрических и др.), обеспечивающих эффективное решение поставленных задач, но и определение наиболее целесообразной последовательности их проведения и рациональных форм организации работ.

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. Соблюдению принципа наименьших трудовых и материальных затрат, а также предупреждению возможности повторной разведки месторождений подземных вод во многом 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).

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).

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 на воду работ 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.

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 выражение в «Основах» водного законодательства и «Основах» законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах.

Рациональная эксплуатация водных ресурсов предполагает их всесторонне 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 утилизироваться 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 учи-

тываться при оценке водных ресурсов, планировании 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 их планирование, 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 1985 г. и ведется разработка Генеральной схемы на перспективу до 2000 г. Для дальнейшего развития Генеральной схемы разрабатываются территориальные и бассейновые схемы комплексного освоения и охраны водных ресурсов, которые служат основой для составления научно обоснованных перспективных и текущих планов поисково-разведочных гидрогеологических работ и других исследований.

Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов несомненно должны способствовать 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 погребения 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 освоения 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.

В соответствии с постановлением (1972) Верховного Совета СССР «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов», начиная с 1974 г., в нашей стране разрабатываются перспективные и годовые планы по рациональному освоению природных ресурсов и охране природы как составные части перспективных и годовых планов развития народного хозяйства.

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 применять эти принципы следует квалифицированно с учетом природных геологических и гидрогеологических закономерностей конкретных месторождений, характера и особенностей поставленных задач и технико-экономических условий промышленного освоения разведемых 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.

§ 3. 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, от степени изученности, сложности и конкретных особенностей природных условий изучаемых месторождений, от стадии и конкретных технико-экономических показателей осуществления проектируемых исследований. Практически во всех случаях изучение подземных вод представляет собой сложное комплексное исследование, включаю-

щее 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) разведочные гидрогеологические работы (поисково-разведочное бурение и другие разведочные работы); 5) полевые опытно-фильтрационные работы (откачки, наливы, 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 нередко в комплексе с ними широко применяются различные виды геофизических исследований как региональных (гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка, электроразведка), так и локальных (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 (10).

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 (гидрохимических, 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, оперативный контроль в процессе выполнения исследований и внесение необходимых корректиров с учетом получаемых результатов — 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, информативности и эффективности сочетания различных видов работ и исследований, 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.

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 (3, 4, 6, 10—12). Примеры обоснования рационального комплекса исследований при проведении поисково-разведочных работ на подземные воды приведены в работе Н. И. Плотникова (10).

Краткая характеристика основных видов гидрогеологических исследований, сопутствующих им геофизических работ и специальных методов исследований, а также общие методические рекомендации по их проведению даются в последующих главах первой части учебника. Методика проведения гидрогеологических и других видов исследований применительно к решению отдельных народнохозяйственных задач (водоснабжение, орошение, осушение, гидротехническое строительство и др.) изложена во второй части учебника.

§ 4. 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 осуществля-

ются 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., в обязательном порядке 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, перспективных 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 частности, на основе учета требований Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР на период до 1985 г. и бассейновых схем разработаны научно обоснованные перспективные планы развития поисково-разведочных гидрогеологических работ в целом по стране на девятую и десятую пятилетки, нашедшие отражение в соответствующих директивных материалах и решениях XXIV и XXV съездов КПСС.

В нашей стране осуществляется единая геологическая и техническая политика в области планирования и проведения поисково-разведочных гидрогеологических работ, обеспечения народного хозяйства водными ресурсами и государственного учета их использования. В области использования подземных вод она осуществляется главным образом Министерством геологии СССР и его специализированными территориальными подразделениями.

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 70%) приходится на поисково-разведочные работы для целей водоснабжения.

Гидрогеологические исследования планируются и при проведении поисково-разведочных работ на другие виды твердых и жидкых 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 исследований и других опытно-методических работ.

Для обеспечения максимальной геологической и экономической эффективности поисково-разведочных на подземные воды работ планами предусматривается постадийное последовательное их проведение, о чем уже говорилось при рассмотрении общих принципов осуществления гидрогеологических исследований (см. § 2).

Региональные геолого-геофизические и гидрогеологические работы (1-я стадия) планируются с целью систематического геолого-гидрогеологического изучения территории СССР и отдельных ее регионов, выявления 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 в масштабах 1:500 000—1:200 000 и крупнее. Результаты изучения используются в дальнейшем для текущего и перспектив-

ного планирования поисково-разведочных на подземные воды работ, для различного рода районирования территорий, обоснования возможности 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, площади для оценки прогнозных запасов подземных вод, 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 ра-

ционального 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 полностью 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, 2).

Важнейшим звеном в планировании гидрогеологических исследований является составление проектно-сметной документации, включающей проект или программу поисково-разведочных работ и смету. Проект и смета составляются на основе выданного на объект геологического задания с учетом поэтапного выполнения

проектируемых исследований. Правильно составленный и обоснованный проект является залогом успешного и целеустремленного 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.

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 освещены следующие вопросы: 1) целевое назначение работ, обоснование объекта и основные задачи и требования его изучения; 2) геолого-гидрогеологическая характеристика объекта с анализом его особенностей и их влияния на методику проектируемых исследований; 3) геолого-гидрогеологическое и другие виды обоснования основных направлений, методов и методики изучения объекта, ожидаемые при этом результаты; 4) виды, объемы, последовательность и методика выполнения проектируемых исследований, 5) производственно-техническая часть с описанием условий проведения запроектированного комплекса исследований и обоснованием исходных данных для составления сметы к проекту работ

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, определяется 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 выше принципов и положений.

§ 5. 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. На это обращается особое внимание в соответствующих решениях партии и правительства.

Определение экономической эффективности гидрогеологических исследований необходимо на всех этапах, начиная от их планирования и кончая оценкой выполненных работ (2, 13).

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 (2, 4, 13).

Экономическая эффективность геологоразведочных работ выражается в разных экономических категориях и формах. Основные результаты выполненных исследований на отдельных объектах и стадиях их проведения оцениваются объемами и качеством выполнения геологического задания, а их эффективность (отраслевая) устанавливается сопоставлением фактических показателей выполнения задания с плановыми или нормативными, а также с показателями выполнения геологического задания по аналогичным объектам. Эффект, получаемый от выполнения гидрогеологических исследований народным хозяйством (народнохозяйственная эффективность), определяется отношением прироста выявленных эксплуатационных запасов подземных вод к затратам, обусловившим этот прирост (либо обратным их соотношением).

Для определения отраслевой и народнохозяйственной экономической эффективности правильнее использовать систему 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 другие (в том числе производные от перечисленных показателей).

Одним из показателей, характеризующих отраслевую экономи-
ческую эффективность гидрогеологических исследований по развед-
ке подземных вод, является себестоимость разведки единицы экс-
плуатационных запасов C_p . Этот показатель определяется по от-
дельным месторождениям, группам месторождений, участкам, райо-
нам по результатам работ на различных стадиях по формуле

$$C_p = \frac{Z_p}{Q}, \quad (I.1)$$

где Z_p — общие затраты в руб. на разведку эксплуатационных запа-
сов той или иной категории в количестве Q м³/сут (при учете запа-
сов разных категорий затраты на их разведку распределяются в
соотношении (I.1) : $C_1 : C_2 = 3 : 1 : 0,2$).

Наряду с себестоимостью разведки единицы запасов использу-
ется показатель, обратный ей по величине, т. е. прирост запасов на
1 руб. затрат (I.3). Показатели сопоставляются по аналогичным
объектам.

Опыт разведки месторождений подземных вод (2, 10) показыва-
ет, что себестоимость разведки 1 м³/сут эксплуатационных запасов
изменяется в зависимости от типа разведенного месторождения:
она наименьшая для месторождений напорных вод флювиогляци-
альных отложений, котловин выноса и артезианских бассейнов плат-
форменного типа, средняя для месторождений артезианских бас-
сейнов геосинклинального типа и зон тектонических нарушений и
наибольшая для месторождений трещинно-карстовых вод. Поэтому
полученный по формуле (I.1) показатель должен сравниваться со
средней по данной группе месторождений себестоимостью разведки
либо с нормативной ее себестоимостью.

Показателем, определяющим народнохозяйственную экономи-
ческую эффективность разведочных гидрогеологических работ, яв-
ляется коэффициент эффективности по ценности разведочных запа-
сов ϑ_p , устанавливаемый из соотношения

$$\vartheta_p = \frac{Z_p}{365QT\bar{C}}, \quad (I.2)$$

где $365QT$ — извлекаемое за расчетный срок T эксплуатации водо-
збора количество воды, м³; \bar{C} — отпускная цена воды в районе ме-
сторождения, руб/м³.

Аналогично изложенному экономическую эффективность разве-
доенных на воду работ можно определять по уровню рентабельности
эксплуатации разведенного месторождения (участка) ϑ_n :

$$\vartheta_n = \frac{Z_p}{365QT(\bar{C} - C)}, \quad (I.3)$$

где C — себестоимость получения воды при эксплуатации водоза-
бора на разведенном месторождении (подлежит дополнительному
определению), руб/м³. Величина T в формулах (I.2) и (I.3) прини-

мается равной сроку амортизации водозабора либо нормативному сроку окупаемости капиталовложений.

Определение экономической эффективности разведочных на воду работ может быть выполнено с помощью *синтезирующего показателя экономической эффективности* K_e с использованием цены разведенных запасов в недрах C_u :

$$K_e = (C_u - C_p) / C_p, \quad (I.4)$$

где C_u — цена 1 м³ разведенной воды, определяемая по методике Н. А. Хрущова (2, 13), либо ориентировочно принимаемая равной отпускной цене на воду C в изучаемом районе.

Детально сведения о приемах определения экономической эффективности геологоразведочных исследований изложены в работах (2, 6, 13), 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 особо 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 (соцсоревнование, повышение производительности труда, режим экономии и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Арендаренко В. А., Солоцкий И. Ф., Подольский М. Ф. Новая система планирования и экономического стимулирования в проектио-изыскательских организациях. М., Стройиздат, 1973, 120 с.
2. Бахчисарайцев А. Н., Синягин Г. П. Экономика, организация и планирование геологоразведочных работ. М., «Недра», 1971, 439 с.
3. Биндерман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970, 216 с.
4. Бирюков В. И., Куличихин С. Н., Трофимов Н. Н. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1973, 384 с.
5. Госстрой СССР. СНиП II-31—74. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., Стройиздат, 1975, 150 с.
6. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. М., «Недра»; 1971, 244 с.
7. Каменский Г. Н. Поиски и разведка подземных вод. Госгеолиздат, 1947, 313 с.
8. Колбасов О. С. Водное законодательство в СССР. М., «Юридическая литература», 1972, 216 с.
9. Овчинников А. М. Минеральные воды. М., Госгеолтехиздат, 1963, 375 с.
10. Плотников Н. И. Поиски и разведка пресных подземных вод для целей крупного водоснабжения. Ч. 1 и 2. Изд-во МГУ, 1965 и 1968, 713 с.
11. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. М., «Недра», 1969, 328 с.
12. Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 1 и 2. Л., «Недра», 1967, 952 с.
13. Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М., «Недра», 1968, 374 с.

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 на различные типы подземных вод структуры, бассейны и горизонты и решаются некоторые другие гидрогеологические задачи (3—7, 10).

По мере увеличения потребностей народного хозяйства в водных и других природных ресурсах, расширения сфер влияния инженерной деятельности человека, роста промышленно-экономического потенциала 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 представляет собой 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 (4, 5, 7—10 и др.).

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.

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 ($1:50\,000$ — $1:25\,000$ и крупнее). Мелкомасштабные съемки являются начальным этапом гидрогеологического изучения той или иной территории. 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.

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 и ресурсов. Результатом проведения общей гидрогеологической съемки, выполняемой, как правило, в рамках топографических трапеций и международной разграфки, являются государственная гидрогеологическая карта по отдельным планшетам, а также сводные карты в целом по СССР или по территориям отдельных его регионов. Общая гидрогеологическая съемка территории осуществляется обычно в мелком и среднем масштабах. В настоящее время при достаточно высокой степени изучен-

ности территории СССР планомерное гидрогеологическое ее изучение осуществляется в основном в среднем (преимущественно 1 : 200 000) и крупном (1 : 50 000 — 1 : 25 000) 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 (обычно крупнее 1 : 200 000), 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 весьма 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, характеристику 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.

Глубина изучения перечисленных показателей и характеристик зависит от характера и специфики решаемых задач и во многих районах она 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 (4, 5, 7, 10).

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 глубинностью 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.

Гидрогеологическая съемка мелкого масштаба — наиболее эффективный способ планомерного изучения и картирования неизученных и слабо изученных в гидрогеологическом отношении круп-

ных регионов. В ее задачу входит картирование водоносных толщ и описание текущих в них подземных вод. Наряду с решением поставленных задач эта съемка и составленные гидрогеологические карты призваны открывать перспективы для последующих более детальных исследований, создавать основу для среднемасштабной гидрогеологической съемки. Поэтому она должна отличаться максимальной глубинностью картирования и достигать по возможности зоны залегания подземных рассолов.

В области распространения многолетней мерзлоты съемкой должны быть охвачены все водоносные толщи, вплоть до подмерзлотных вод (см. гл. XVI).

Материалы мелкомасштабной съемки используются для построения различного рода сводных и региональных карт, теоретических обобщений, составления генеральных схем освоения новых территорий, схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, а также размещения объектов промышленного и сельскохозяйственного производства.

Гидрогеологическая съемка среднего масштаба может проводиться на заснятых ранее мелкомасштабной съемкой площадях, а также и на территориях, где съемочные работы еще не выполнялись. При наличии мелкомасштабной карты основной задачей среднемасштабной съемки является более детальное изучение зон пресных, солоноватых и соленых вод, установленных по результатам мелкомасштабной съемки. При проведении среднемасштабной съемки осуществляется более дробное расчленение гидрогеологического разреза с выделением водоносных толщ пород, площади распространения которых могут быть отражены на карте среднего масштаба.

Среднемасштабные гидрогеологические съемки — основной вид государственного картирования территории СССР, и к ним предъявляются повышенные требования (кондиции) в отношении их информативности и комплексности проведения исследований. В результате 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.

В последнее время в число обязательных задач среднемасштабной ($1:200\,000$) и мелкомасштабной ($1:500\,000$) гидрогеологических съемок включается задача оценки естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена. Такая оценка должна базироваться на данных, выполняемых в процессе этих съемок исследований, и осуществляться комплексным гидролого-гидрогеологическим методом в соответствии со специально разработанными методическими указаниями. Результаты съемки должны определять целесообразность и характер всех последующих исследований на картируемой территории, а именно: 1) основные направления поисковых и разведочных работ на различные типы подземных вод

(пресные, минерализованные, минеральные, промышленные, термальные), 2) оценку условий мелиорации земель и возможностей использования различных типов подземных вод, 3) специализированные исследования и съемки более крупных масштабов.

Материалы среднемасштабной гидрогеологической съемки используются при разработке генеральных схем, технико-экономических обоснований (ТЭО), а иногда и в технических проектах водохозяйственных и других инженерных мероприятий и сооружений, при обосновании проектов специальных гидрогеологических исследований и разведочных гидрогеологических работ.

Гидрогеологическая съемка крупного масштаба в настоящее время приобретает региональный характер. Она охватывает огромные территории, закартированные ранее в среднем масштабе. В ее задачу входит детальное изучение водоносных горизонтов, содержащих пресные, минерализованные и другие воды, представляющие наибольший интерес для народного хозяйства. Съемка должна включать более дробное 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 технического и рабочего проектирования.

Методика проведения гидрогеологических съемок и методы решения поставленных конкретных задач зависят от природных особенностей 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 общим гидрогеологическим съемкам в различных по природным условиям районах и при разной их масштабности основное содержание съемки остается общим и предопределяется оно 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, условие и глубина залегания развитых на картируемой территории водоносных толщ (а также водонаправляющих безводных толщ) и выдержаных водоупоров, их мощность, фациальные и литологические особенности, характер пористости и распространение трещиноватости, водопроницаемость и раствори-

мость в воде пород водонасыщенной зоны и зоны аэрации; 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 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 восполнения; 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: 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.

Для успешного и эффективного выполнения поставленных перед съемкой многочисленных задач 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) аэрофотосъемка и дешифрирование аэрофотоснимков; 2) аэровизуальные и наземные визуальные наблюдения (геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические, инженерно-геологические); 3) бурение (картировочное, поисковое, параметрическое, зондировочное), шурфование и расчистки; 4) опытно-фильтрационные работы; 5) наблюдения за режимом подземных вод; 6) геофизические исследования; 7) гидрохимические и радиогидрогеологические исследования; 8) лабораторные работы; 9) 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, опробования, гидрохимические и радиогидрогеологические исследования), а к косвенным — методы,

посредством которых получают данные, в той или иной мере отражающие гидрогеологические особенности изучаемой местности (геоморфологические и геоботанические наблюдения, геофизические исследования, аэрофотосъемка и дешифрирование).

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.

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 поставленных перед съемкой задач в кратчайшие сроки и при минимальных затратах. Задача обоснования рационального комплекса исследований и проведения гидрогеологической съемки намечается в подготовительный период в процессе составления съемочных работ.

При гидрогеологической съемке основным видом работ являются маршрутные исследования, в процессе проведения которых осуществляются разнообразные наземные визуальные наблюдения: геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические и инженерно-геологические. При общей гидрогеологической съемке проводятся также геофизические работы, бурение скважин и гидрогеологическое опробование естественных и искусственных водопоявлений, аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения (особенно в районах затрудненной проходимости).

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 водопоявлений 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 аэровизу-

альных 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 выше методы съемки, причем их значение и последовательность применения на различных участках могут изменяться в зависимости от степени открытости их геологогидрологического 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.

Важнейшими вопросами, определяющими эффективность и информативность съемки, являются вопросы глубинности исследований и степени детальности гидрогеологического расчленения изучаемой части геологического разреза.

Вопросы глубинности гидрогеологической съемки. В каждом гидрогеолого-экономическом районе гидрогеологическая съемка должна давать информацию на максимально возможную и рациональную в данных условиях глубину. Глубинность съемок разных масштабов в действующих методических руководствах не регламентируется, однако соответствующие рекомендации по этому вопросу имеются (4–10).

Глубинность гидрогеологической съемки определяется ее масштабом, степенью расчлененности рельефа, глубиной залегания кровли практически безводных толщ кристаллического фундамента, условиями обводненности пород изучаемой части геологическо-

го 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 перспективой оценки последних (7). 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 должны быть выявлены 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. При этом надо иметь в виду два возможных варианта гидрохимической зональности — нормальной (прямой) и обращенной (инверсивной), характерных для гумидной и для аридной областей.

В случае нормальной зональности на платформенных территориях при неглубоком залегании кристаллического фундамента (до 300—500 м) изучению подлежит гидрогеологический разрез всего осадочного чехла и зоны выветривания фундамента. В глубоких синеклизыах платформ, в краевых прогибах, в предгорных и межгорных впадинах исследования доводятся до зоны распространения подземных рассолов. В горноскладчатых областях оно охватывает обычно зону интенсивного водообмена, определяемую положением местного базиса эрозии, за исключением межгорных и предгорных впадин, глубинность изучения которых указана выше.

Картированием при нормальной зональности следует охватывать пресные и соленые воды, а в районах неглубокого залегания рассолов (до 200—300 м) и верхние горизонты последних.

При обращенной зональности изучение доводится до зоны залегания глубинных рассолов, а картирование должно охватывать верхнюю толщу с обращенной зональностью, включая всю зону глубинных преимущественно гидрокарбонатного кальциевого состава вод.

В области многолетней мерзлоты изучение доводится до подмерзлотных вод с заглублением в них на несколько десятков метров, а картирование — до наиболее глубоких водоносных горизонтов, представляющих практический интерес.

При среднемасштабной гидрогеологической съемке изучается гидрогеологический разрез всей толщи, содержащей пресные и со-

пеные воды со сравнительной оценкой качества воды всех выделяемых гидрогеологических подразделений.

При этом рекомендуется в отдельных пунктах установить глубину залегания и химический состав подземных рассолов, если это не было сделано ранее при мелкомасштабной съемке. Карттирование доводится до наиболее глубоких из установленных водоносных горизонтов хозяйствственно-питьевых, лечебных и промышленных вод.

На территориях, где проводится съемка в крупном масштабе, глубина изучения подземных вод устанавливается, исходя из гипсометрического положения тех горизонтов и комплексов, вода которых представляет 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 гидрогеологической съемке с соответствующей ее масштабу детальностью должны изучаться и картироваться все водоносные толщи и типы подземных вод в пределах, указанных выше для каждого масштаба глубин картирования. Более глубокие водоносные толщи должны картироваться с меньшей детальностью и точностью, соответствующей нижестоящему классу съемки: при крупномасштабной съемке — в среднем масштабе, при среднемасштабной съемке — в мелком масштабе с последующим повышением детальности их картирования при более крупном масштабе съемки (5, 7).

Вопросы гидрогеологической стратификации. 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.

В настоящее время используются два метода гидрогеологического расчленения разреза и показа площадей распространения подземных вод на карте. Один из них основан на литолого-стратиграфическом принципе, при котором учитываются как литолого-стратиграфические особенности горных пород (а соответственно и их водо-физические и фильтрационные свойства), так и гидродинамические (а в определенной степени и гидрохимические) особенности подземных вод (5, 7).

Другой метод основан на учете литолого-петрографического состава горных пород и характера скопления подземных вод и детально рассмотрен И. К. Зайцевым. В соответствии с этим методом на карте цветом показывается распространение различных типов и классов подземных вод (порово-пластовых, трещинно-пластовых, порово-трещинных и т. д.).

Существенными недостатками второго метода гидрогеологического расчленения разреза и показа выделенных форм скопления подземных вод на карте являются чрезмерная схематизация геологических условий и геоструктурных элементов, трудность чтения и

увязки карты с геологоструктурными особенностями и историей геологического развития регионов.

Литолого-стратиграфический метод расчленения разреза и установления на карте площадей распространения соответствующих подразделений в виде цветной закраски, соответствующей международной легенде геологических карт, лишен этих недостатков и получил более широкое признание и распространение. При использовании данного метода по карте четко устанавливаются обстановка формирования подземных вод, влияние истории геологического развития на их формирование, представляется возможным отразить этажность расположения водоносных горизонтов и комплексов. Составленная таким образом карта хорошо читается. Методика гидрогеологической стратификации, разработанная сотрудниками института ВСЕГИНГЕО, с успехом используется при составлении среднемасштабных государственных гидрогеологических карт, а также в многотомной монографии «Гидрогеология СССР» и сопровождающих ее обзорных гидрогеологических картах.

В соответствии с этой методикой при гидрогеологическом расчленении разрезов рыхлых и слабосцементированных осадочных и метаморфических пород, представляющих пластовые поровые или порово-трещинные коллектора подземных вод, целесообразно выделять

такие гидрогеологические подразделения, как водоносный горизонт, водоносный комплекс, гидрогеологический этаж и водоупорная толща (1, 2, 5).

Под *водоносным горизонтом* следует понимать относительно выдержанную по площади и в разрезе насыщенную гравитационной водой одно- или разновозрастную толщу горных пород, представляющую собой в гидродинамическом отношении единое целое.

По условиям залегания и режиму выделяются водоносные горизонты грунтовых, межпластовых ненапорных и артезианских (напорных) вод (рис. 1). Объем водоносных горизонтов не должен, как правило, превышать объема стратиграфических ярусов, реже отделов.

Водоносный комплекс является более крупным гидрогеологическим подразделением по сравнению с горизонтом. Он представляет собой выдержанную в разрезе и имеющую региональное распро-

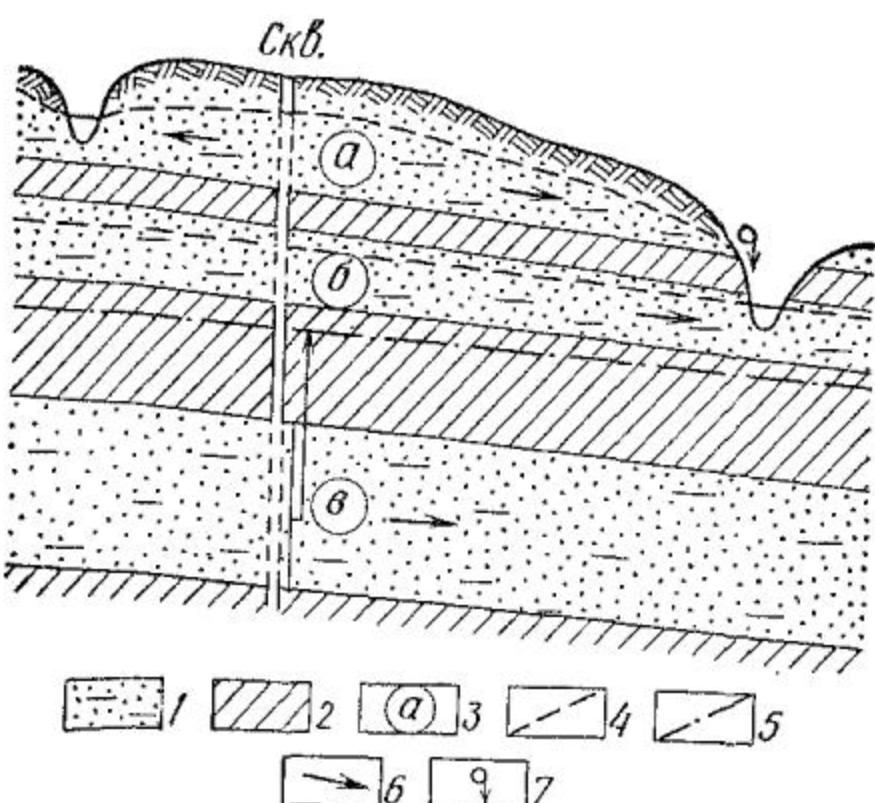


Рис. I. Схема залегания водоносных горизонтов

1 — водопроницаемые породы; 2 — водоупорные породы, 3 — водоносные горизонты, выделяемые по условиям залегания и их режиму (а — грунтовых, б — межпластовых ненапорных, в — артезианских), 4 — уровень грунтовых и межпластовых ненапорных вод, 5 — пьезометрический уровень артезианского водоносного горизонта, 6 — направление движения подземных вод, 7 — разгрузка грунтовых вод (нисходящий источник)

такие гидрогеологические подразделения, как водоносный горизонт, водоносный комплекс, гидрогеологический этаж и водоупорная толща (1, 2, 5).

Под *водоносным горизонтом* следует понимать относительно выдержанную по площади и в разрезе насыщенную гравитационной водой одно- или разновозрастную толщу горных пород, представляющую собой в гидродинамическом отношении единое целое.

По условиям залегания и режиму выделяются водоносные горизонты грунтовых, межпластовых ненапорных и артезианских (напорных) вод (рис. 1). Объем водоносных горизонтов не должен, как правило, превышать объема стратиграфических ярусов, реже отделов.

Водоносный комплекс является более крупным гидрогеологическим подразделением по сравнению с горизонтом. Он представляет собой выдержанную в разрезе и имеющую региональное распро-

ранение водонасыщенную толщу одно- или разновозрастных и неодинаковых по составу пород, ограниченную в кровле и подошве регионально выдержаными водоупорными пластами, почти исключающими или затрудняющими гидравлическую связь с другими смежными водоносными комплексами и тем самым обеспечивающими присущие данному комплексу определенные особенности гидродинамического и гидрогеохимического режима. Водоносный комплекс может включать несколько в различной степени выдержанных и взаимосвязанных водоносных горизонтов. Объемы водоносных комплексов определяются стратиграфическими ярусами, свитами, сериями, отделами, частями систем и реже системами.

Под гидрогеологическим этажом понимается совокупность водоносных комплексов, ограниченных только в подошве или кровле и подошве мощными регионально выдержанными в пределах водоупорной системы толщами водоупорных пород. Гидрогеологические этажи отличаются один от другого степенью водообмена, особенностями формирования подземных вод, различными чертами палеогидрогеологического развития. Объем гидрогеологического этажа определяется преимущественно такими стратиграфическими подразделениями, как система, совокупность систем или даже группа. Выделение этой гидрогеологической единицы целесообразно при картировании крупных водоупорных систем. Так, например, в Западно-Сибирском артезианском бассейне региональные водоупорные толщи нижнеолигоцен-туронского возраста, а также валанжина и верхней юры дают основание для выделения трех гидрогеологических этажей 1) четвертичных и неоген-олигоценовых отложений, 2) меловых пород, 3) юрских отложений и образований палеозойского фундамента. Каждый гидрогеологический этаж подразделяется на водоносные комплексы и горизонты.

Охарактеризованные выше формы скопления подземных вод (водоносный горизонт, водоносный комплекс, гидрогеологический этаж) могут иметь различные размеры как в разрезе, так и в плане. Одни от другого они отделяются водоупорными толщами различной мощности, выдержанности по площади и степени проницаемости пород. Наименее выдержаными в региональном плане являются водоносные пласти и водоносные горизонты. В одном и том же водоносном комплексе на разных участках может выделяться различное количество водоносных горизонтов. Это часто вызывает затруднение при сопоставлении водоносных горизонтов в комплексе.

Водоносные комплексы и тем более гидрогеологические этажи являются более выдержаными в пределах той или иной водоупорной системы. Водоупорные толщи, разделяющие их, как правило, отличаются значительно большей мощностью и более широким распространением по площади.

Следует отметить, что количественные критерии выделения водоупорных и относительно водоупорных толщ в разрезе пока еще не установлены, хотя данные, по которым можно судить об изолирующих свойствах пород, известны. Основными из них являются ли-

тологические особенности и минералогический состав пород и их водно-физические свойства.

В качестве непосредственных показателей установления изолирующих свойств водоупорных толщ следует считать показатели гранулометрического состава, пористости, проницаемости, поглотительной способности глинистых пород, состав поглощенных катионов, а также общую гидродинамическую обстановку.

Естественно, такие породы, как плотные, нетрециноватые магматические, метаморфические и прочно сцепментированные осадочные породы, а также каменная соль, гипсы, ангидриты, аргиллиты, глинистые сланцы, глины и многолетнемерзлые отложения, большинством исследователей признаются практически водоупорными. Однако в каких гидрогеологических условиях водоупорными могут быть мергели, глинистые алевролиты и песчаники, не совсем ясно. Нет единого мнения по этому вопросу даже о глинистых толщах. Анализ накопленных данных дает основания полагать, что при гидрогеологическом расчленении разреза для картирования глинистые отложения, имеющие мощность более 10 м и разобщающие соседние в разрезе водоносные слои, следует считать водоупорными. В то же время при количественной оценке может оказаться целесообразным рассматривать эти отложения как относительно слабопроницаемые, не исключающие возможности взаимодействия разобщаемых ими водоносных горизонтов. Совершенно очевидно, что надо еще учитывать распространение и выдержанность глинистых отложений по площади. Для проведения такого анализа исключительно большое значение имеют геофизические данные по каротажу скважин (электрический, радиоактивный и др.).

Изложенная гидрогеологическая стратификация позволяет расчленять изученный разрез пород с различной дробностью в соответствии с накопленными практическими материалами и возможностями гидрогеологической съемки и картирования того или иного масштаба.

При крупномасштабной гидрогеологической съемке имеется возможность выделять и картировать не только водоносные горизонты, но и отдельные водоносные пласти и линзы, которые некоторые исследователи предлагают рассматривать в качестве элементарных таксономических подразделений гидрогеологической стратификации (7). 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-физическими свойствам, по водообильности, по условиям залегания и граничным условиям и по другим показателям (4—10).

Изложенные положения по гидрогеологической стратификации геологического разреза являются в определенной мере дискуссионными, однако в целом отвечающими сложившейся практике съемки и картирования (1, 2, 5). Некоторые исследователи предлагают не-

сколько другую схему таксономических гидрогеологических единиц: водоносный пласт, водоносный горизонт, водоносная свита, водоносная серия, гидрогеологический этаж (7).

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—7, 10).

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 предварительные («оценочные») гидрогеологические карты (а при необходимости и различные вспомогательные карты) в масштабе планируемой съемки и разрезы к ним.

При составлении предварительных карт должно быть объективно отражено состояние изученности района по основным, связанным со съемкой вопросам (наличие и качество аэрофотоматериалов, полнота результатов и качество завершенных гидрогеологических исследований, полнота и качество геологической основы, достоверность геофизических исследований, наличие топопланшетов и т. д.), а также дана оценка возможности конкретного использования фондовых и других материалов при съемке.

В результате сбора и анализа фактического материала необходимо выделить в разрезе основные водоносные комплексы и горизонты, обводненные зоны открытой трещиноватости скальных пород, водоупорные толщи (с характеристикой их мощностей и глубин залегания), участки гидрогеологических окон, определить минерализацию подземных вод, наметить зоны обводненных тектонических разломов и т. д.

Предварительные карты должны определять тот недостающий материал, который необходимо получить в процессе проведения съемки. Только после детального их 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. I, § 2 и 4).

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. Существенно подчеркнуть, что нередко подготовительный период требует больше времени, чем период выполнения полевых работ.

В полевой период применяются предусмотренные в составе гидрогеологической съемки виды и методы исследований, осуществляется текущая камеральная обработка материалов полевых исследований, составляются полевые карты и отчет, выполняются необходимые увязки и т. д.

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—7, 10). Некоторые из них (бурение, опытно-фильтрационные работы, наблюдения за режимом подземных вод, лабораторные исследования, геофизические, гидрохимические и радиогидрогеологические) достаточно детально освещены в последующих главах первой части учебника (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 аэрофотоснимков и аэровизуальные наблюдения. Использование аэрофотоматериалов и аэровизуальных наблюдений при гидрогеологической съемке значительно облегчают выявление картируемых гидрогеологических объектов, их прослеживание и оконтуривание по прямым и косвенным признакам, отраженным на аэрофотоснимках 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 дешифри-

рование аэрофотоснимков и применение аэровизуальных наблюдений целесообразно проводить в первую очередь и во всех районах:

Рекомендуются следующие наиболее рациональные соотношения между масштабами аэрофотоснимков и гидрогеологических съемок (5, 7, 10):

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

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.

Для правильной интерпретации данных аэрофотосъемки необходимы наземные исследования для расшифровки различных контуров на фотоснимках, установления связи грунтовых вод с рельефом, растительностью, почвами, выявления индикаторов грунтовых вод и их фотографических эталонов. Основными видами наземных исследований являются маршрутные наблюдения, бурение и гидрогеологическое опробование скважин и источников.

Гидрогеологическое дешифрирование представляет собой сложную задачу, так как оно охватывает комплекс признаков: топографических, гидрологических, геологических, геоботанических, геокриологических и собственно гидрогеологических. Области разгрузки подземных вод фиксируются по источникам, травертинаам, 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 стадиях гидрогеологосъемочных работ.

В подготовительный период проводится предварительное дешифрирование в целях общего ознакомления с особенностями района и составления предварительной гидрогеологической карты и схемы маршрутов, с выявлением участков, представляющих по совокупности дешифрирующих признаков наибольший интерес.

Дешифрирующие признаки, намеченные при предварительном дешифрировании, в процессе полевых работ проверяются сопоставлением фотоматериалов с натурой.

Отделифрированные 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 обеснеченные непосредственными полевыми наблюдениями.

Наиболее тщательное дешифрирование аэрофотоматериалов осуществляется в камеральный период.

Геологические контуры, границы водоносных или водоупорных горизонтов, напеченные в полевых условиях, получают после камерального изучения снимков под стереоскопом более тщательное и оконченное оформление, при этом нередко выявляются детали, ранее не отмеченные на карте.

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, простирации 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, шахтыми колодцами и неглубокими скважинами) и составления соответствующей гидрогеологической карты.

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

При мелкомасштабной съемке ($1:1\,000\,000$ — $1:500\,000$) применяются маршрутные пересечения вкрест простирания геологических структур и форм рельефа или в близком к этому направлении. При среднемасштабной съемке ($1:200\,000$ — $1:100\,000$) наряду с маршрутными пересечениями вкрест простирания структур наблюдения проводятся и по простиранию наиболее интересных водоносных толщ и горизонтов в целях прослеживания их распространения, изменения условий залегания, литологических особенностей пород, водопроницаемости, водообильности и качества подземных вод. При крупномасштабной съемке ($1:50\,000$ — $1:25\,000$) прослеживание сочетается с оконтуриванием важнейших водоносных горизонтов и пластов.

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

Маршруты вкрест простирания 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 простиранию являются связующими между основными маршрутами и проводятся с целью прослеживания границ распространения водоносных и безводных толщ, выявления типов подземных вод и т. д.

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

Гидрогеологическая съемка начинается с изучения сводного опорного разреза района и разработки геологической и гидрогеологической стратификационной рабочей схемы. С этой целью весь инженерно-технический состав партии (экспедиции) совершает рекогносцировочный маршрут по наиболее обнаженным и глубоким долинам, пересекающим геологические образования, структуры и основные формы рельефа вкрест их простирания или в близком к этому направлению.

После рекогносцировочного обследования района и составления предварительной схемы гидрогеологических условий, которая подвергается уточнению в процессе последующих работ, приступают к площадной съемке, выполняемой в основном методом

маршрутных исследований и визуальных наблюдений с применением простейших вскрытий работ (расчистки, шурфы и т. п.), картировочного бурения и опробования водоносных горизонтов и водопунктов.

Выделяются следующие основные виды маршрутных наблюдений: геоморфологические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, геоботанические, геокриологические и инженерно-геологические. Маршрутные наблюдения сопровождаются качественным и количественным опробованием подземных вод, которым 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—7, 10).

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) освещение 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 простирания пластов пород и по простиранию основных типов рельефа. Причем особенности рельефа описываются не только на специальных геоморфологических точках, но и на обнажениях, водопунктах и т. д.

При описании рельефа необходимо выяснить: 1) морфографию — внешний вид рельефа; выделяются и описываются крупные элементы рельефа (водоразделы, речные долины, вершины и др.), отдельные формы (холмы, гряды, увалы, овраги, террасы, уступы и др.), элементы форм (склоны террас, характер бровки и т. д.); 2) морфометрию — длину, ширину, высоту или глубину каждой формы рельефа, уклон ее поверхности, абсолютные отметки описываемых точек; 3) происхождение элементов рельефа и степень участия 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, супфозионные, 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, закартированность, эффективную пористость, вывстрелость, 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 водопоности горных пород, 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 являются: естественные водопоявления (источки, мочажины, участки высыпания, 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 водо-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 ну-

мерация. 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. Если в какой-нибудь точке проводятся наблюдения над несколькими объектами, то она (точка) отмечается несколькими условными знаками.

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.

Распределение и количество естественных и искусственных точек наблюдений должны в совокупности обеспечить преемственность и сплошность прослеживаемого по маршруту геолого-гидрогеологического разреза.

Каждый объект наблюдений прежде всего наносится на полевую карту фактического материала под соответствующим порядковым номером. Его местоположение определяется по четко обозначенным на местности и на топографической карте или фотопланах ориентирам глазомерно или методом визирования и защечек с помощью буссоли или горного компаса.

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, водо-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 водопроявлений и водопунктов полевыми методами и отбор проб воды для лабораторных исследований, описываются физико-геологические явления и применимые 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 водорастворимых минералов. Поэтому перечисленные характеристики являются важнейшими объектами изучения в зоне аэрации при гидрогеологической съемке.

В результате изучения зоны аэрации должны быть установлены ее геолого-литологический разрез и мощность, характер и распределение скважности (включая норы землероев) и водопроницаемость слагающих ее пород, распределение водорастворимых солей в вертикальном разрезе и в плане, а также наличие и распределение верховодки (глубина ее залегания, качество) и условия формирования.

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 водопроявления, 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 водопроявления дают наиболее правильное представление о подземных водах зоны дренирования, поэтому они должны тщательно изучаться при съемке. При обследовании естественных водопроявлений 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 водопроявления с пресной, солоноватой и соленой водой, холодные и термальные, газирующие и негазирующие, круглогодичные, сезонные и периодически действующие, нисходящие и восходящие. Основные сведения заносят в учетную карточку родника по установленной форме (4, 5). Подробно описывают условия водопроявле-

ний и связь их с поверхностными водосмами, дренирующими понижениями, трещинами, тектоническими нарушениями, стратиграфическими контактами и гидрометеорологическими факторами.

Для каждого естественного проявления подземных вод дается детальная характеристика литологических особенностей и петрографического состава водонесущих, а также выше- и нижележащих пород, вскрытых в разрезе. Приводится описание цвета, мощности, взаимоотношений и переходов, характера контактов и условий залегания, а также характера, размеров и генезиса эффективной скважности, ее распределения и выдержанности в различных частях изучаемого разреза.

Если в разрезе наблюдается несколько водопоявлений на различных его участках или уровнях, то необходимо установить причины этого обстоятельства, а также выяснить наличие между ними гидравлической связи.

Описание водопоявлений (источников) в полевом дневнике ведется по единой схеме примерно в следующей 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 водопоявления, физические свойства и химический состав воды (если химический анализ осуществляется на месте); газопоявления, 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, шурfov и т. п.).

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

Для количественной оценки изучаемых водопоявлений определяется их расход. Простейший способ определения расхода естественных водопоявлений — установка водосливных лотков (треугольной, трапецидальной 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, шурfov и скважин, формы которых приведены в руководствах (4, 5).

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; литологические особенности и водоносность пород, слагающих дно и берега водотока и водоема; режим поверхностных вод; расход поверхностных вод на различных участках водотока, физические свойства и химический состав вод; определение мест подтока подземных вод (субаквальные источники и др.) по изменению температуры, 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. Они 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 развития 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 (рис. 2).

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.

Геоботанические наблюдения в засушливых областях позволяют выявить участки с различными глубинами залегания подземных вод, дать прогноз о качестве вод на этих участках, показать границы между некоторыми литологическими разностями пород, 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 рощ) и другие гидрогеологические показатели.

Современный этап применения геоботанических методов характеризуется все более широким использованием растительных индикаторов при гидрогеологическом картировании, а также для

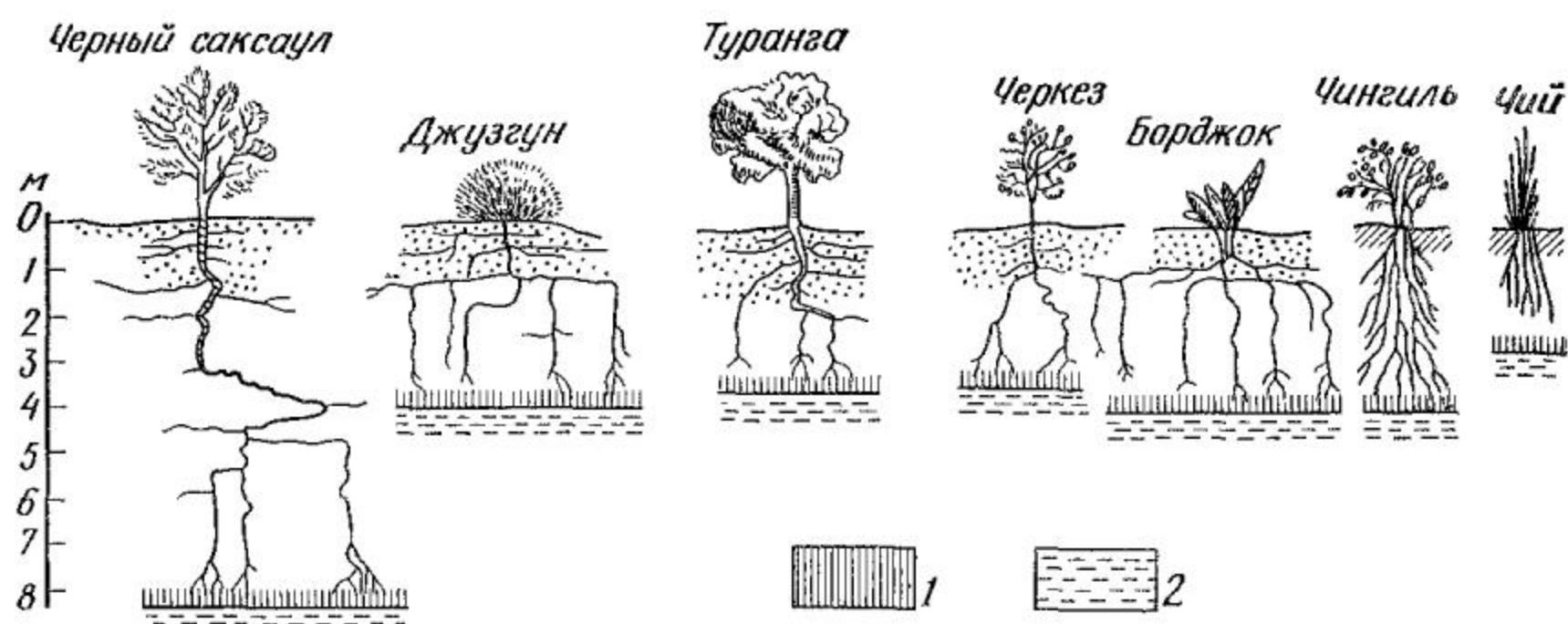


Рис. 2. Прямые гидроиндикаторы (фреатофиты) засушливых областей (по У. М. Ахмедсафину).

1 — капиллярная кайма; 2 — грунтовые воды

выявления зон развития процессов засоления и рассоления, оползневых и селевых явлений, количественной оценки изменения влажности, учёта расходования воды на транспирацию и решения других задач, в которых растительность рассматривается как активный и важный компонент водонасыщенных пород (3, 7).

Геокриологические (мерзлотные) наблюдения. Они 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 (5, 10). При этом фиксируются состояние и свойства мерзлых пород, криогенные и посткриогенные явления (наледи, бугры пучения, талики, термоабразия, солифлюкция и др.).

Описание разреза многолетнемерзлых пород в обнажениях, выработках и т. п. проводится, как обычно, послойно сверху вниз. Наиболее тщательно изучаются 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 стенах 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 вод 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 наледи 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.

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

При описании бугров пучения, образование которых обычно связано с промерзанием надмерзлотных, реже подмерзлотных вод, следует указывать их тип и вид, форму образования 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. (см. гл. XVI).

Инженерно-геологические наблюдения. При гидрогеологической съемке они осуществляются попутно, начиная с этапа изучения материалов прежних исследований. Задачами инженерно-геологических наблюдений являются сравнительное изучение прочностных, водо-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 (4—7, 10).

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 палеогеографической 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 обусловливаются 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 эле-

ментах 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 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 скважинности (пористость, кавернозность, трещиноватость, закарстованность) пройденных пород и ее распределение в вертикальном 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, коэффициент фильтрации водоемещающих пород, плотность и качество находящихся в них подземных вод.

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 простирации 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 про-

валы бурового инструмента, выход газа из скважин, а также отбираются образцы пород и воды для анализов.

Для проведения фильтрационных и других опытно-полевых исследований и отбора монолитов горных пород для дальнейшего их лабораторного изучения применяется шурфование (4, 5, 10).

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

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, шурfov и скважин, наливы и нагнетания в скважины, экспресс-методы, опережающее опробование водоносных горизонтов. Для определения коэффициента фильтрации безводных пород зоны аэрации применяются опытные наливы 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 институтом ВСЕГИНГЕО метод спиржающего опробования водоносных толщ с помощью специального фильтра-опробователя. Этот метод обеспечивает получение сравнительной характеристики фильтрационных свойств всех вскрываемых и обнаруживаемых при бурении скважин песчаных водоносных горизонтов без обсадки их трубами и удаления глинистого раствора. Так, в Краснодарской комплексной геологической экспедиции в отдельных скважинах этим методом опробовалось по 10—15 водоносных пластов и горизонтов без обсадки скважин трубами, без удаления из них глинистого раствора и при сохранении диаметра бурения до проектной глубины (7).

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 учебника 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 гидрофизические 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, по-

лосе (например, при картировании тектонических разломов, при определении оптимальных геолого-гидрогеологических условий для заложения поисково-разведочных скважин и др.).

Применение геофизических методов в геологии и 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 гидрогеологосъемочных 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. На рис. 3 и 4 для примера приведены результаты определения мощности пород зоны аэрации геофизическими методами.

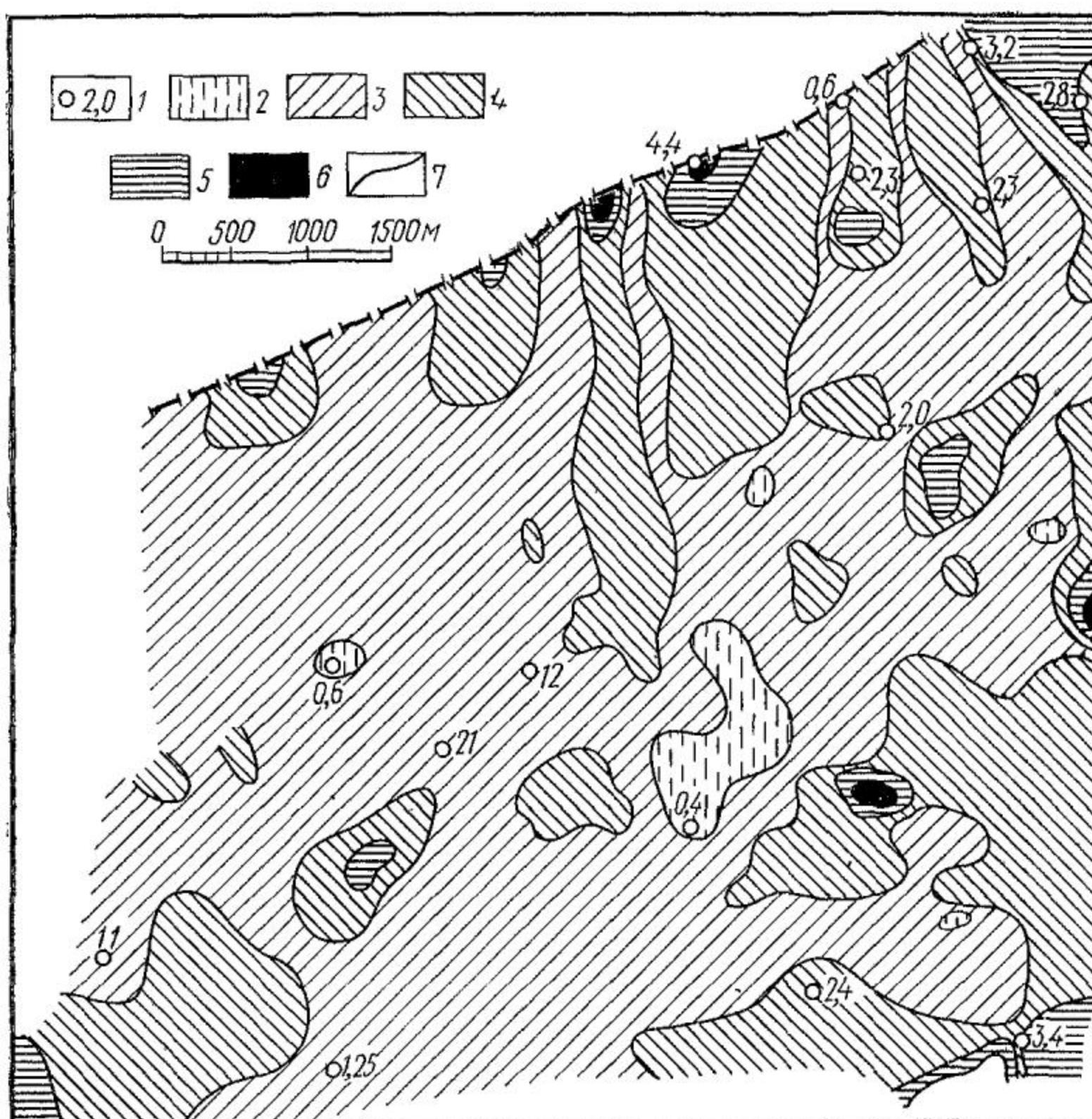


Рис. 3. Карта глубин (в метрах) до уровня грунтовых вод по результатам сейсморазведочных работ:

1 — скважины вибрационного бурения (справа — глубина залегания грунтовых вод);
2—6 — районы с различной глубиной залегания уровня грунтовых вод, (2 — до 1, 3 — от 1 до 2, 4 — от 2 до 3, 5 — от 3 до 4, 6 — от 4 до 5); 7 — границы районов

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.).

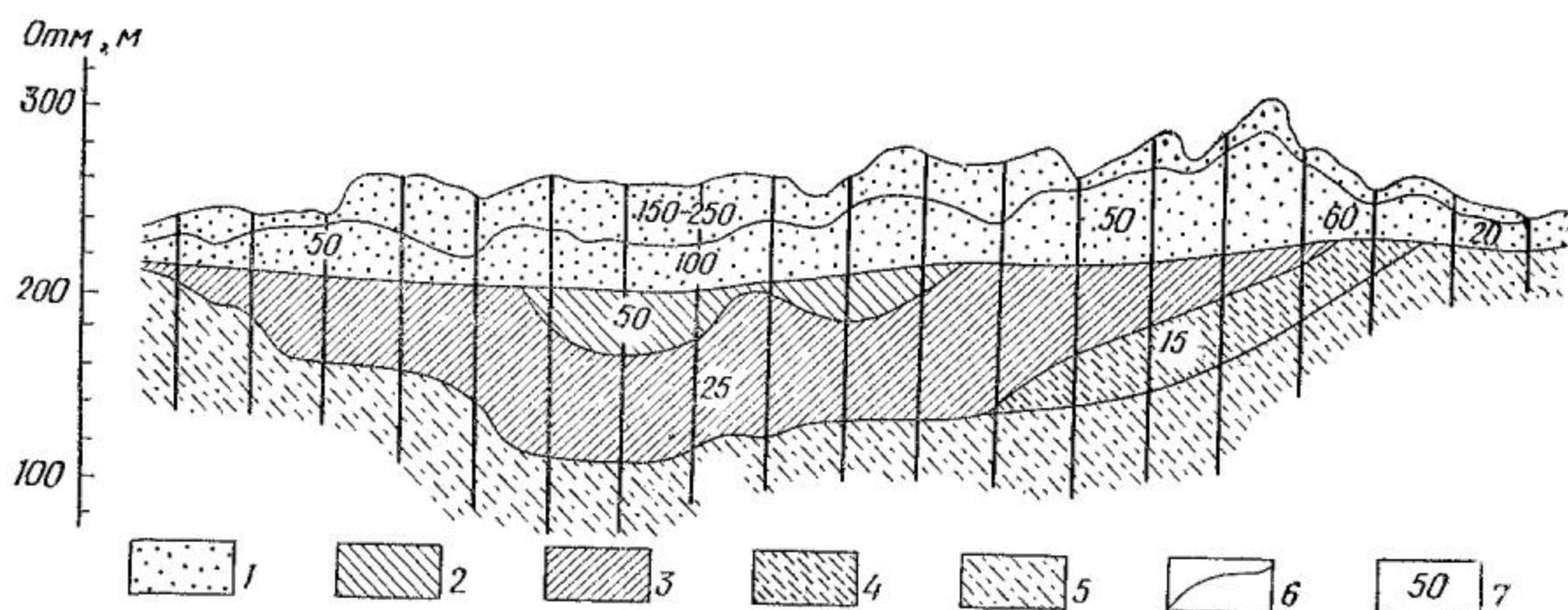


Рис. 4 Результаты определения мощности пород зоны аэрации и минерализации грунтовых вод по данным ВЭЗ (междуречье Мургаб — Теджен):

1 — пески зоны аэрации; 2—5 — преимущественно мелкозернистые, водоносные пески с минерализацией (г/л) грунтовых вод: 2 — до 1, 3 — от 1 до 3, 4 — от 3 до 6, 5 — более 6, 6 — уровень грунтовых вод по данным ВЭЗ; 7 — удельное электрическое сопротивление пород в Ом·м

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

Гидрохимические и радиогидрогеологические исследования. Гидрохимические исследования при съемке проводятся как в целях выявления гидрохимических 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 радио-

активность, отбор проб воды и образцов пород для определения в них содержания радиоактивных элементов, радиометрические поиски урана и интерпретацию выполненных наблюдений.

Обстоятельное изложение методов и направленности радиогидрогеологических исследований приводится в гл. VIII, § 4 учебника.

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 гидрохимических ореолов рассеяния, металлогенических особенностей картируемой территории и решения других специальных задач.

Качественному опробованию обязательно подлежат все зафиксированные при съемке водопunkты. 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 обеспечить 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, жидкých и газообразных полезных ископаемых.

Более детальное изложение принципов и методов проведения лабораторных работ при гидрогеологических исследованиях дано в гл. VI учебника.

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—10).

§ 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 водоупоров в пределах заданной глубины картирования.

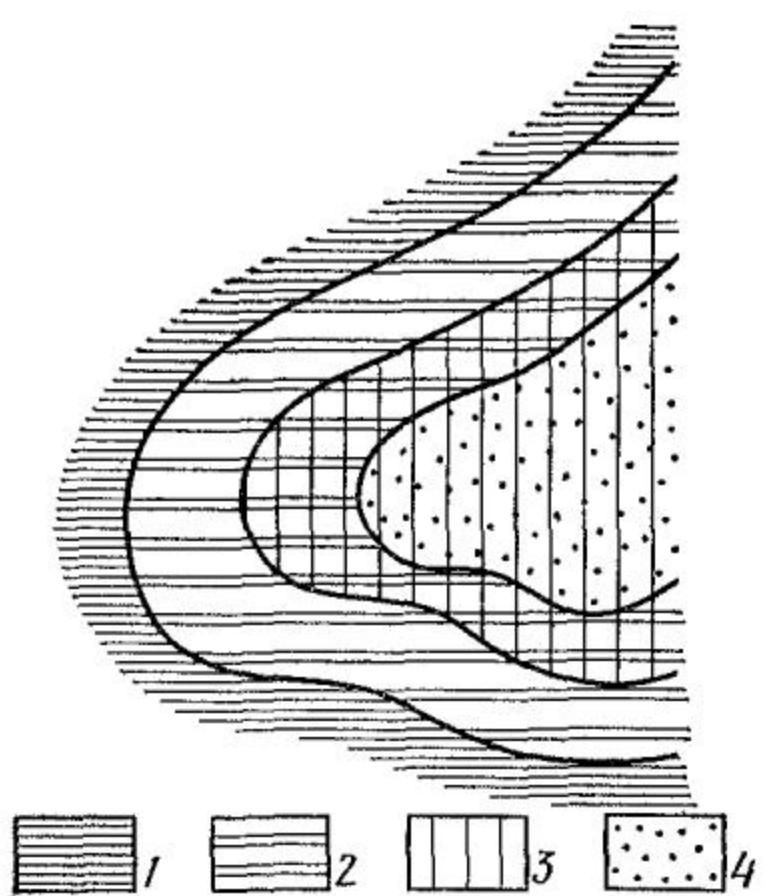


Рис. 5. Схема отображения этажности водоносных комплексов (горизонтов) методом «просвечивания» (по А. М. Овчинникову):

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

гидрогеологические карты, а вспомогательными — геоморфологические, геологические и др.

Единой методики составления гидрогеологических карт не существует, однако определенный опыт и ценные разработки по этому вопросу имеются (1, 4, 5, 7—10).

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, 5, 7, 10):

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 кра-

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. 5), построением карт-срезов, линиями контуров и т. п. (7).

Гидрогеологические карты составляются в окончательном виде на основе полевых карт, среди которых основными являются карты фактического материала, водопунктов и расчлененные или совмещенные гидрогеоло-

пом. 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 — водопunkты 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 иллюстративных материалов дополнительно представляются карты пьезоизогипс, глубин залегания подземных вод, водообильности, водопроводимости, ресурсов подземных вод, гидрохимические и другие специальные карты, методика составления которых выбирается с учетом конкретных особенностей картируемой территории.

Методика Всесоюзного института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) используется в основном при монографическом описании и картировании территории СССР. Она получила широкое внедрение в практику гидрогеологического картирования (9). 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.

Интересные и оригинальные варианты построения общих гидрогеологических карт и приемы такого построения, основанные на использовании различных принципов построения карт и их сочетания для различных природных условий, предложены А. С. Рябченковым (8), О. Н. Толстыхиным (9) и др.

Методика составления специальных гидрогеологических карт для каждого конкретного задания определяется прежде всего содержанием и целевым назначением карт. Поскольку содержание и задачи специализированных карт весьма разнообразны, единой методики их составления, как уже говорилось, не существует.

Показательные макеты специализированных гидрогеологических карт и комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических карт, выполненных на основе комплексных съемочных гидрогеологических работ для целей мелиоративного строительства, предложены в руководстве (4).

Ниже в качестве конкретного примера приведена схематическая гидрогеологическая крупномасштабная карта, составленная для целей водоснабжения (по Л. Я. Тененбауму). На рис. 6 показаны площадные обобщенные гидрогеологические параметры (водопроводимость, мощность водоносного слоя, удельные дебиты, минерализация воды и др.). На такую карту при необходимости могут быть также нанесены гидро- и пьезоизогипсы.

В общем случае при составлении специализированных гидрогеологических карт необходимо придерживаться основного правила: 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.

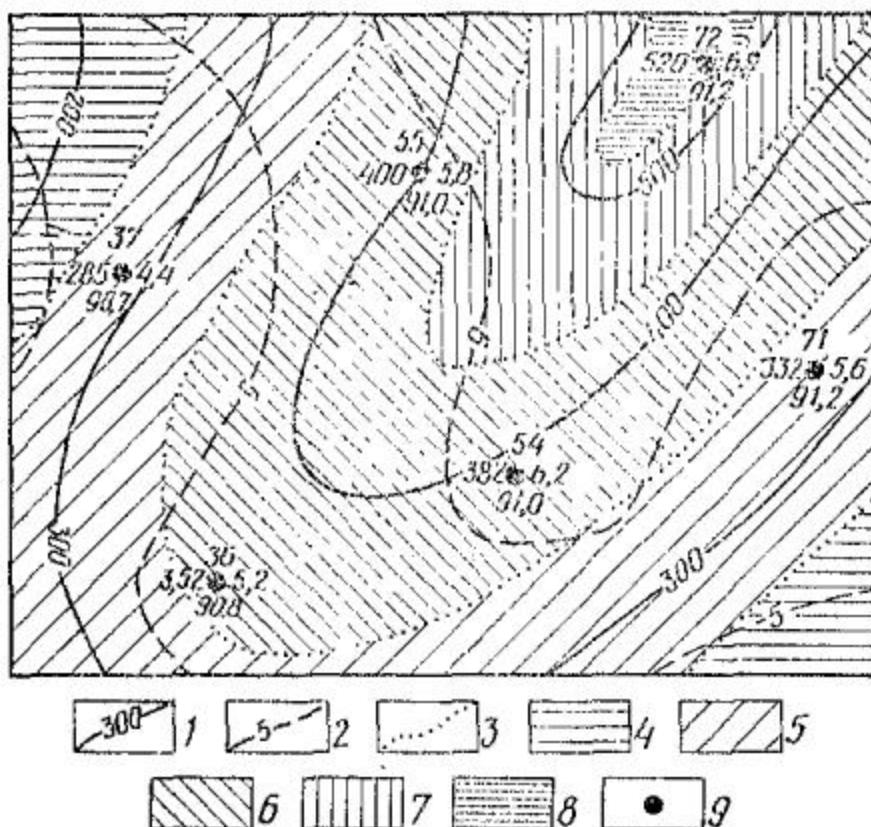


Рис. 6 Фрагмент карты водоносности участка.

1 — изолинии водопроводимости (площади водообильности показываются цветной отмывкой), $\text{m}^2/\text{сут}$, 2 — изолинии мощности водоносного слоя, м, 3 — изолинии единичных, т. е. отнесенных к первому метру понижения уровня, удельных дебитов скважин, $\text{l}/\text{с м}$, 4—8 — площади с единичными удельными дебитами соответственно, $\text{l}/\text{с м}$ (4 — 1—2; 5 — 2—3, 6 — 3—4; 7 — 4—5, 8 — 5—6), 9 — гидрогеологическая скважина, вверху — номер, слева — водопроводимость, $\text{m}^2/\text{сут}$, справа — мощность водоносного слоя, м, внизу — отметка уровня воды, м

нованности их фактическим материалом делятся 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 плане картографические материалы с пояснительной запиской должны обеспечивать решение всех задач, поставленных перед гидрогеологической съемкой соответствующего масштаба.

О задачах гидрогеологических съемок различного масштаба достаточно подробно говорилось в начале настоящей главы.

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 терригии 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, составлены 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 (9). На рис. 7 в качестве примера приведена схема распространения на территории СССР термальных вод, составленная Ф. А. Макаренко и Б. Ф. Маврицким (1961).

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 подоснабжения, применения вертикального дренажа, подземного захоронения промышленных стоков, искусственного пополнения запасов подземных вод и других целей.

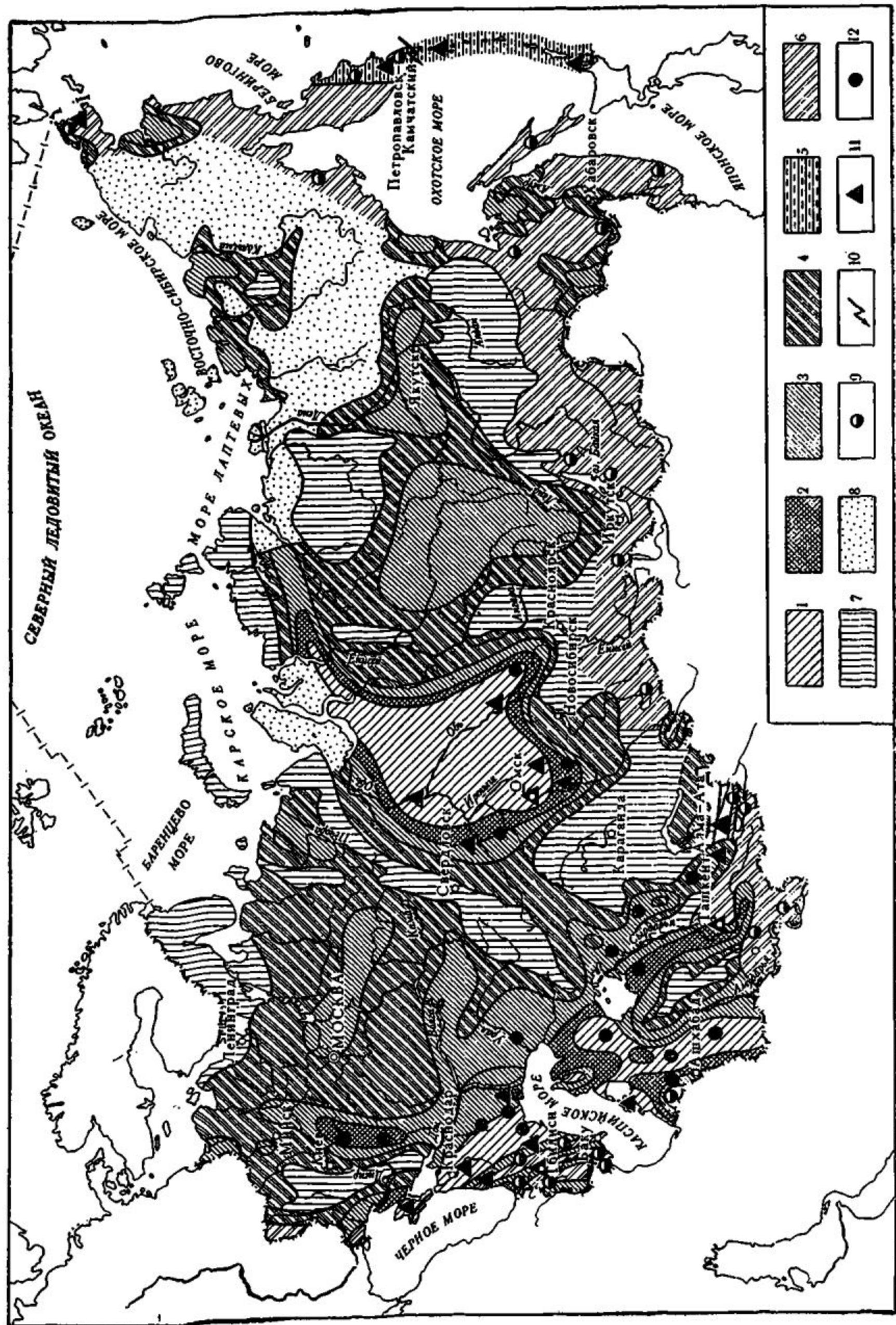


Рис. 7. Схема распространения термальных вод СССР и их практическое значение:

1 — перспективные районы для строительства геотермических электростанций, теплофикации городов, сельского хозяйства и других целей (температура подземных вод более 100° С); 2 — перспективные районы для теплофикации городов, сельского хозяйства и других целей (температура подземных вод 75—100° С); 3 — перспективные районы для теплофикации и теплоснабжения сельского хозяйства и других целей (температура подземных вод 40—75° С); 4 — частично перспективные районы для теплофикации (температура подземных вод до 40° С), 5 — районы совмещенного вулканизма с широким развитием парогидротерм, нагретых до 200° С и более, перспективные для строительства геотермических электростанций, городского и сельскохозяйственного теплоснабжения, 6 — районы с малым бассейном и с распределенными выходами термальных вод, пригодными для различного использования (теплофикация, курортное строительство и др.), 7 — горные страны и нагорья, малоиспользованные в оношении использования подземного тепла, 8 — участки для использования термальных источников с температурой 30—100° С, пригодных для различных видов теплофикации, 9 — участки для использования термальных вод, 10 — строящиеся и проектируемые геотермические электростанции, 11 — строящиеся и проектируемые объекты теплофикации городов, промышленных предприятий, 12 — участки возможного использования термальных вод для сельского хозяйства (животноводческие и птицеводческие фермы, гсилицы, парники, шерстомойки и др.) География на карте указана до глубин 2000—3000 м

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтовский М. Е. Методические указания по составлению гидрогеологических карт масштабов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000 М., Госгеолтехиздат, 1960, 52 с.
2. Богданов Г. Я., Кононов В. М. Вопросы гидрогеологической стратификации — Известия высших учебных заведений Сер «Геология и разведка», 1975, № 2, 99—104 с.
3. Викторов С. В. Использование аэrolандшафтно-индикационных методов при поисках вод для пастбищ пустынь, полупустынь и степей. Обзор. Сер. «Гидрогеология и ниж геология», 1972, 35 с.
4. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелiorативного строительства, вып 1—3. М., 1972, 473 с.
5. Методическое руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. М., Госгеолтехиздат, 1961, 320 с.
6. Методическое руководство по производству геологической съемки в масштабах 1 : 50 000 и 1 : 25 000 М., Госгеолтехиздат, 1962, 372 с.
7. Методические указания по гидрогеологической съемке на закрытых территориях в масштабах 1 : 500 000, 1 : 200 000 и 1 : 50 000 М., «Недра», 1968, 176 с.
8. Методические указания при гидрогеологической съемке на закрытых территориях в масштабах 1 : 500 000, 1 : 200 000 и 1 : 50 000 (варианты гидрогеологических карт). М., «Недра», 1969
9. Подземные воды СССР. Сб. статей, вып. 1 М., «Недра», 1970, 142 с.
10. Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 2 Л., «Недра», 1967, 360 с.

Г а в а III

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СПОСОБАМ ПРОХОДКИ, КОНСТРУКЦИЯМ И ОБОРУДОВАНИЮ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

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 цепной 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 «Разведочное 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 особенностей 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 гидрогеологиче-

ских 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 водопосыпных 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 беспрерывную 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 возникнуть 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, что к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин должны предъявляться неодинаковые требования.

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 при сооружении гидрогеологических скважин применяют следующие способы бурения: врацательный с прямой промывкой, врацательный с продувкой, врацательный с обратной промывкой, ударно-канатный, комбинированный, реактивно-турбинный, колонковый. Предпочтительны для проходки гидрогеологических скважин врацательный (с прямой и обратной промывкой и продувкой), ударно-канатный и комбинированные способы бурения, для сооружения глубоких скважин — врацательный (роторный) и реактивно-турбинный, колонковый (1—4, 7—12).

Врацательный способ с прямой промывкой целесообразно применять при бурении гидрогеологических скважин в хорошо изученных геолого-гидрогеологических условиях при отсутствии в разрезе часто переслаивающихся слабонапорных и малодебитных водоносных горизонтов. В процессе проходки опробуемых интервалов для отбора керна целесообразно использовать колонковые снаряды. Для опробования водоносных горизонтов следует применять пластиостатели, расходометрию 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 аэризованными растворами, эффективные методы разглинизации и т. д. Врацательный способ бурения с промывкой обеспечивает возможность быстрого сооружения глубоких скважин, применение упрощенных их конструкций, высокие технико-экономические показатели буровых работ.

Врацательное бурение скважин с обратной 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 поверх-

ности, при наличии значительного количества воды для бурения и благоприятных температурных условиях (выше 0° С).

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 капитала 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 (роторным) 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-эксплуатационных 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. Станок для бурения гидрогеологических скважин выбирают, исходя из геологотехнических условий, глубины и диаметра бурения, состава пород и других факторов.

Наибольшее практическое применение имеют следующие станки: для роторного бурения — АВБ-3-100, УРБ-ЗАМ, УРБ-4ПМ, 1БА-15В, УРБ-ЗАЗ, 1БА-15К, ЗИФ-1200Л, УВБ-600 и др.; для ударно-канатного — УКС-22М, УКС-30М; для комбинированного — УГБ-

50А, УГБ-50М, УРБ-2А, 1БА-15К; для реактивно-турбинного — БУ-75БР, БД, 9Д и др. (1, 8, 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. 8).

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

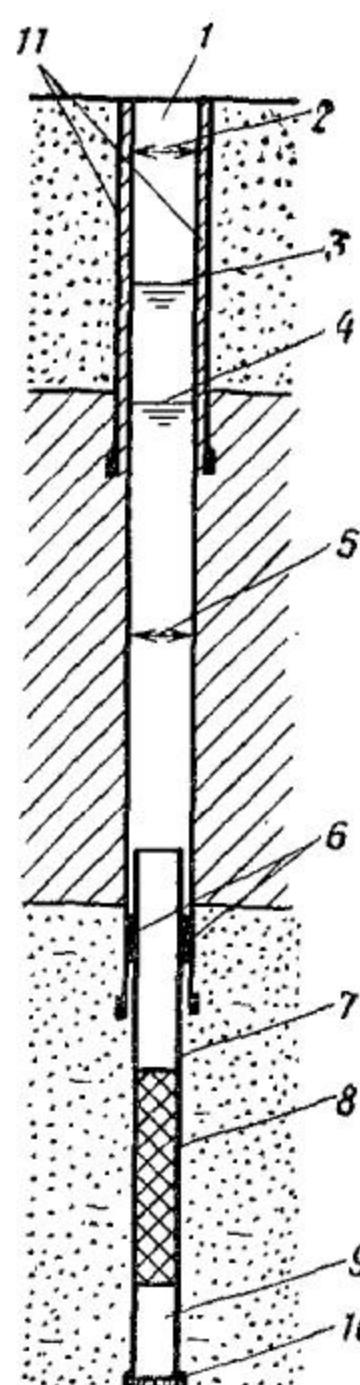


Рис. 8. Основные элементы конструкции гидрогеологической скважины:

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

менении 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).

Таблица 1

Категория скважины	Минимальное проходное сечение, мм	Диаметр бурового наконечника при вращательном способе бурения, мм			Диаметр бурового наконечника при ударном бурении, мм	
		без обсадки призабойной зоны трубами	при обсадке призабойной зоны грубыми без цементации	при обсадке призабойной зоны трубами с цементацией	без обсадки призабойной зоны грубыми	при обсадке призабойной зоны трубами
Поисковые и разведочные	80—90	91	91	161—190	80—90	110
Разведочно-эксплуатационные	80—100	91	110	190	110	130
Эксплуатационные	80—100	91	110	190	110	130
Наблюдательные:						
а) при установке автоматических приборов	75—80	75	91—110	161—190	75—91	91
б) без установки автоматических приборов	40—50	45,5	75—91	151	24,5—58,5	75

Начальный диаметр бурсния 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 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. 9 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 «вплотай» или вскрытием водоносных горизонтов путем перфорации обсадных колонн (1, 8, 11).

Водопримная 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. Наиболее широко на практике используются сетчатые, проволочные, каркасно-стержневые, гравийные, трубчатые (с круглой и щелевой перфорацией), полиэтиленовые и другие фильтры. Для гидрогеологических скважин, подлежащих опробованию или эксплуатации, предпочтительны каркасно-стержневые, гравийные и трубчатые фильтры дырчатого и щелистого типов; для наблюдательных скважин возможно использование фильтров более значительных сопротивлений.

Выбор типа фильтра, его конструкции, размеров и других показателей осуществляется в соответствии с выработанными на основе опыта указаниями и рекомендациями (1, 3, 5, 7, 8, 11). Длину рабочей части фильтра l_0 в водоносных пластах небольшой мощ-

ности (до 5—10 м) следует принимать в зависимости от условий полного их вскрытия. В более значительных по мощности водоносных горизонтах ее определяют, исходя из условий обеспечения проектного дебита скважины Q , ориентировочно по эмпирической зависимости.

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

где Q — проектный дебит скважины в $\text{м}^3/\text{ч}$; d — наружный диаметр фильтра в мм; a — эмпирический коэффициент, принимаемый в зависимости от коэффициента фильтрации водоносных пород в пределах от 30 (для высоко-проницаемых песчаногравийных 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/t в пределах 0,5—0,8 (здесь t — 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÷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 изо-

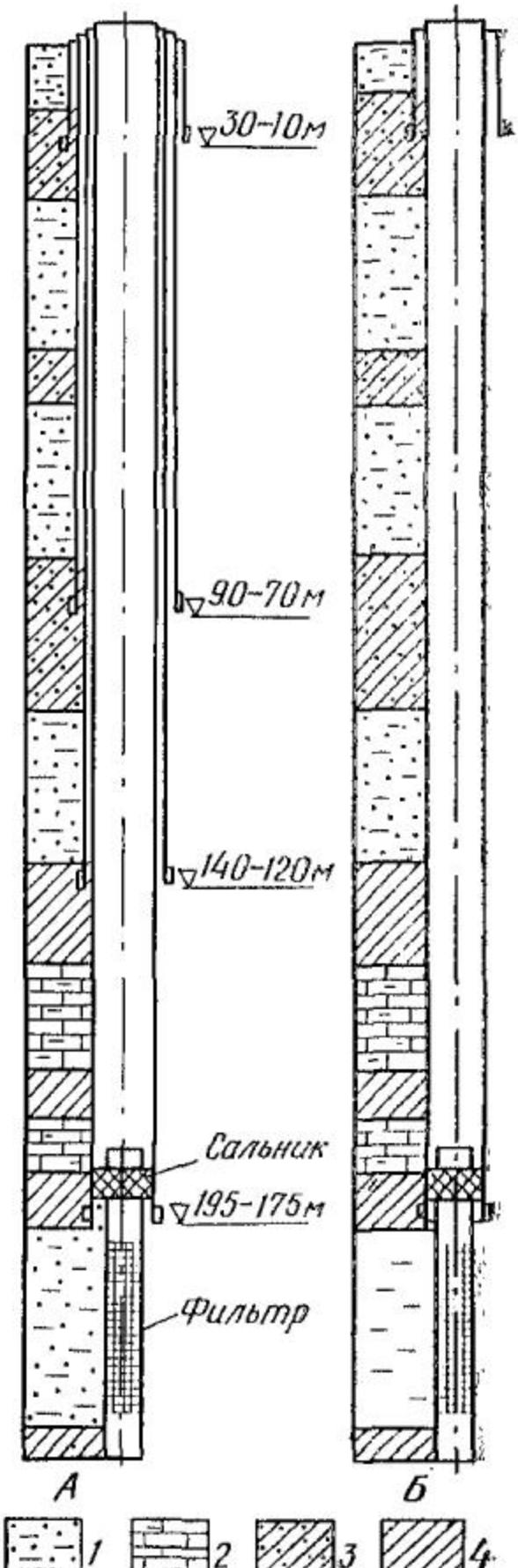


Рис. 9. Схематические разрезы скважин глубиной до 200 м. А — скважина, пройденная ударным способом; Б — скважина, пройденная вращательным способом

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

ляция 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 гигиенических 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 испытуемых 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. 9, A). 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 разбуриивается специальный карман (с помощью специальных расширителей или долота с эксцентриком), заполняемый тампонажной глиной. Возможно заполнение стакана цементом для цементации башмака обсадной колонны. В дальнейшем глинистая или цементная пробка внутри обсадной колонны разбуриивается. 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 испытуемого горизонта 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. Диаметр бурения изолируемой части скважины при цементации принимается на 50—120 мм больше диаметра цементируемых труб. Если нижележащий водоносный горизонт, под-

лежащий опробованию или эксплуатации, является высоконапорным с уровнем выше устья, цементация обсадных колонн обязательна до устья скважины (1, 3, 7, 8, 11).

Технически цементация осуществляется различными способами (через заливочные трубы, 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 прокалыванием труб перфораторами или другим способом (рис. 10).

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 разделением 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, которые устанавливают последовательно снизу вверх путем расклинивания деревянного клина, на который заливают цемент через колонну труб. Исследование 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 калтируются одной колонной обсадных труб с установкой на ней

фильтров для каждого из горизонтов и разобщением этих фильтров цементными мостами внутри обсадной колонны (рис. 11). 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 капитированных 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 (см. рис. 10).

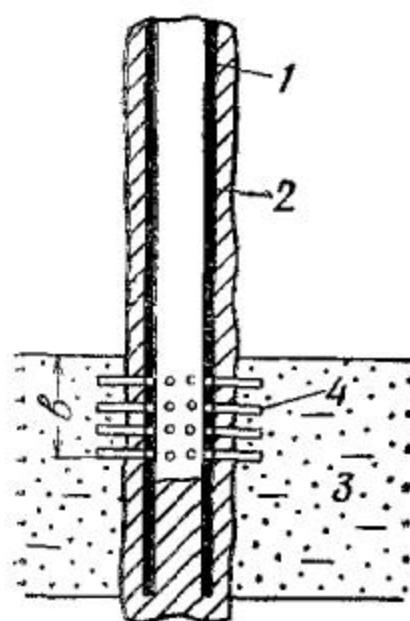


Рис 10 Схема за трубной цемента ции обсадной колонны труб и вскрытия водоносного пласта перфорацией

1 — обсадная колонна труб, 2 — цементный стакан; 3 — водоносный пласт, 4 — перфорационные каналы; 5 — вскрытая мощность пласта

Весьма 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 (см. рис. 11, 12).

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 последние годы находят широкое применение комплексы испытательных инструментов (КИИ-65, КИИ-146 с резиновым пакером осевого дав-

ления), испытательные снаряды (ИСВ с одним или двумя резиновыми пакерами, СИП-З и др.), гидрогеологические опробователи пластов (ОПГ-4-5, ОПГ-7-10) и другие типы. Следует лишь отметить,

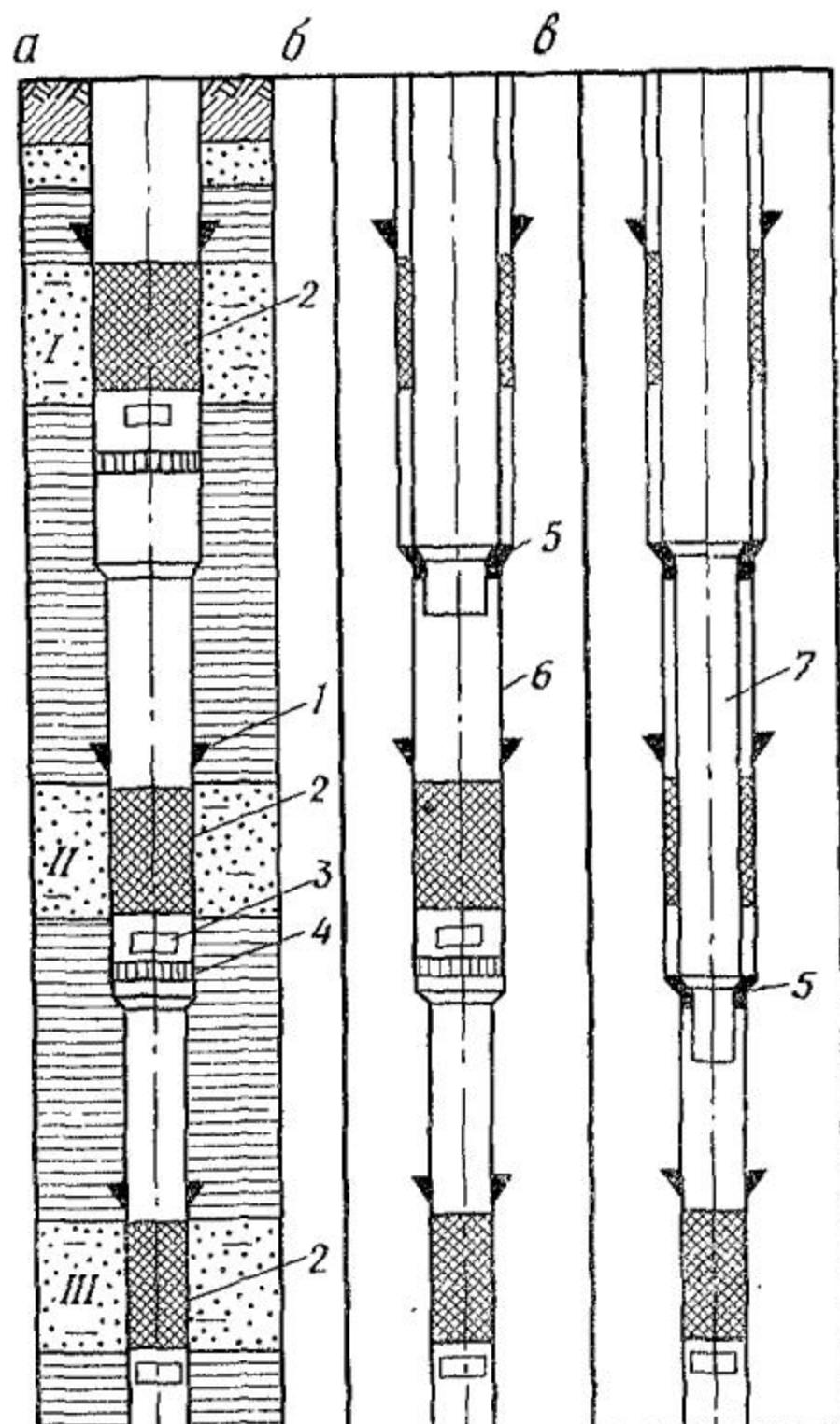


Рис 11 Одноколошная конструкция скважины вращательного бурения с тремя фильтрами:

a — опробование I водоносного горизонта;
b — опробование II водоносного горизонта;
c — опробование III водоносного горизонта;
1 — эластичный сальник; 2 — фильтр;
3 — промывочное окно; 4 — цементная пробка;
5 — сальник пеньковый; 6 — обсадная колонна труб; 7 — вспомогательная колонна труб

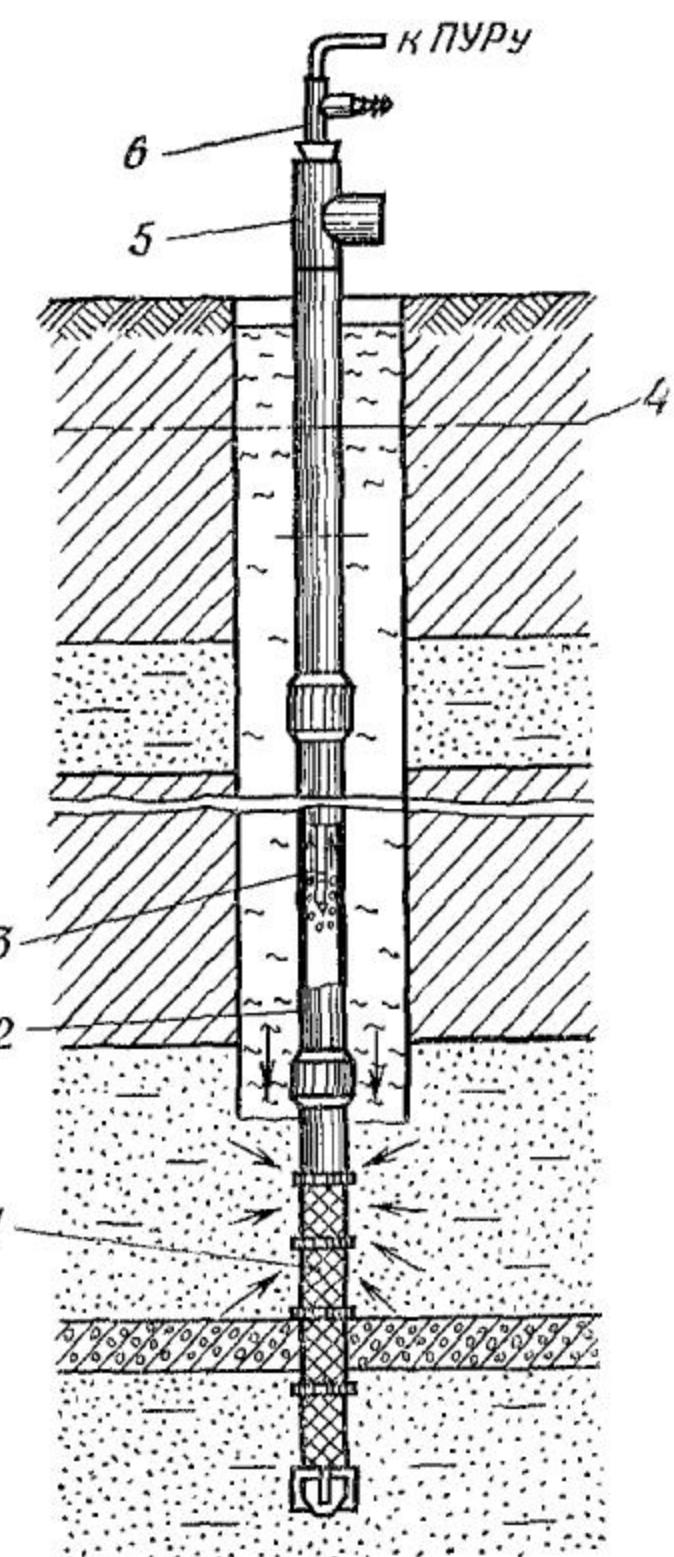


Рис 12. Схема опрессажющего опробования водопроницаемых горизонтов.

1 — фильтр опробователь, 2 — бурильные 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

что для надежной изоляции пакерами испытуемого интервала требуется обеспечение действия на них осевой нагрузки до 5—7 т (1, 8, 11).

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. п. Особой спецификой отличается оборудование устья фонтанирующих и газирующих 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 (тамиопажа) 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, детальное описание которыхдается в специальной литературе (1—6, 9—12).

Технические средства для бурения скважин и их подготовки для опробования и других гидрогеологических исследований детально изучаются в курсе «Разведочное 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 Азимаш-11 и Азимаш-8 (для скважин глубиной до 3000—7000 м), аппараты Яковleva (при исследованиях скважин глубиной до 1000—2400 м), портативные лебедки типа ЛП-2 и др. (4, 6, 9—12).

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 комплексы 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 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. 13). 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, 11). 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, 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—300 м³/ч для больших типоразмеров; развиваемый напор — от 25 до 600 м. Напоры насосов, устанавливаемых в скважины диаметром до 203 мм, редко превышают 150—200 м.

Для проведения опытных откачек создан передвижной откачечный 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 откачу 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. 14). Комплект обеспечивает возможность налива или нагнетания воды в изолируемый тампоном интервал при заданных ступенях давления с регистрацией величин водопоглощения по водомеру и давлений по манометрам.

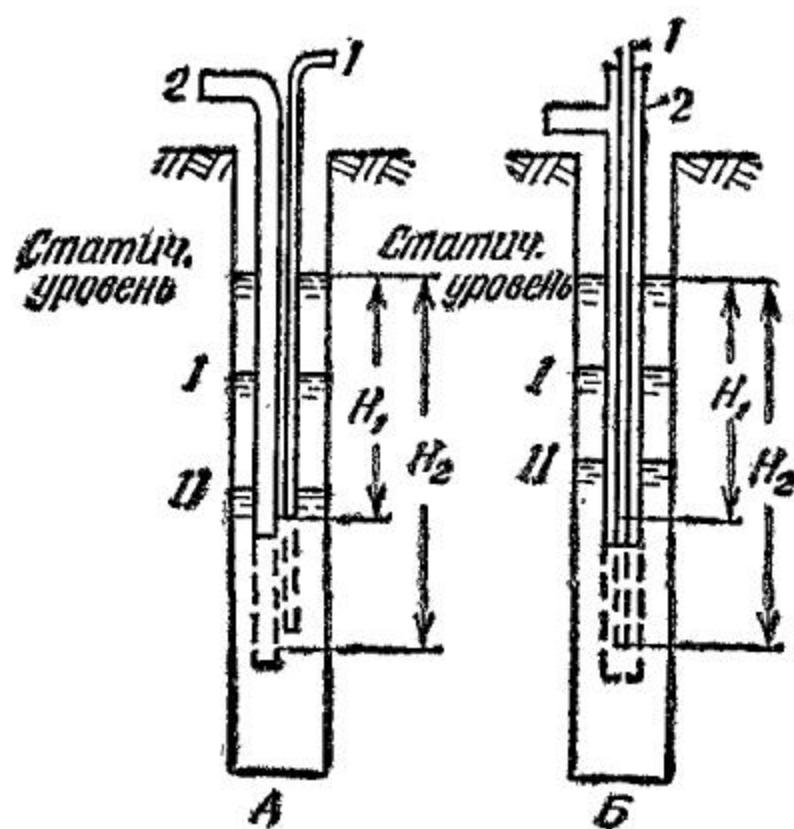


Рис 13 Схемы монтажа эрлифта при откачке с двумя ступенями понижения уровня. *A* — по схеме «рядом»; *B* — по схеме «внутри». *I* — динамический уровень при погружении труб на глубину H_1 , *II* — то же, при погружении на глубину H_2 ; *1* — воздухопроводные трубы; *2* — водоподъемная колонна

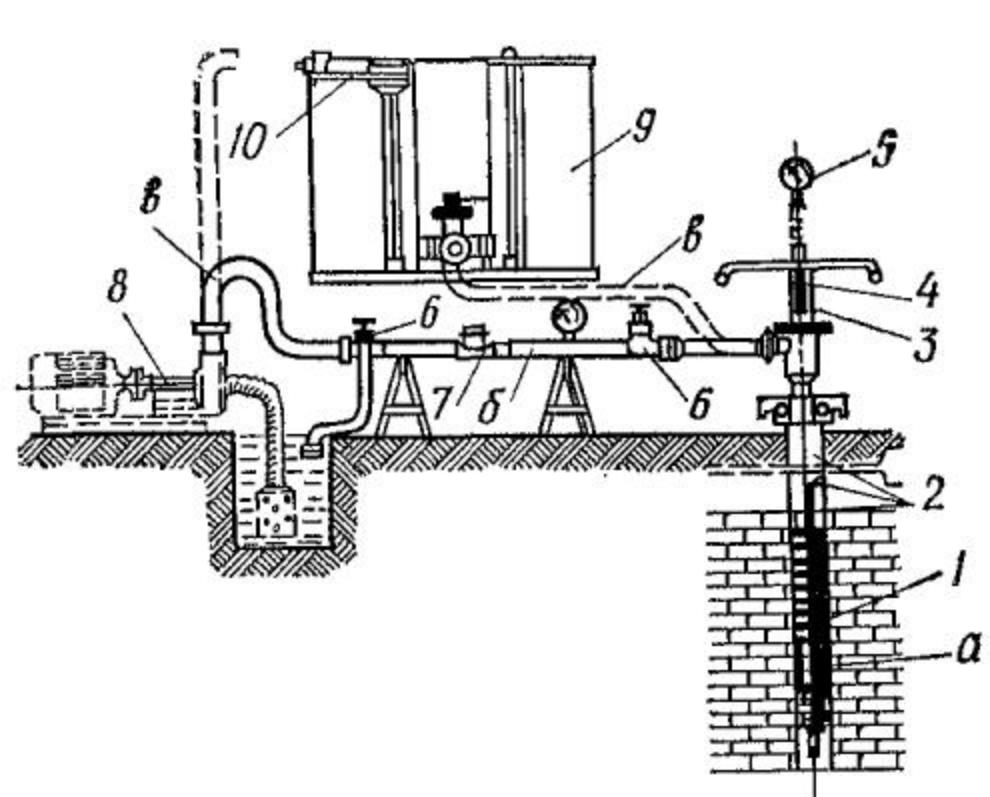


Рис 14 Унифицированный комплект оборудования для опытных нагнетаний (УКН-1М)

a — тампон, *b* — распределительное устройство; *v* — 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

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 — хлопушки и электроуровнемеры. Хлопушки 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, ГГП-12). Точность замеров уровня хлопушками $\pm 1\text{--}5$ 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. 15). 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

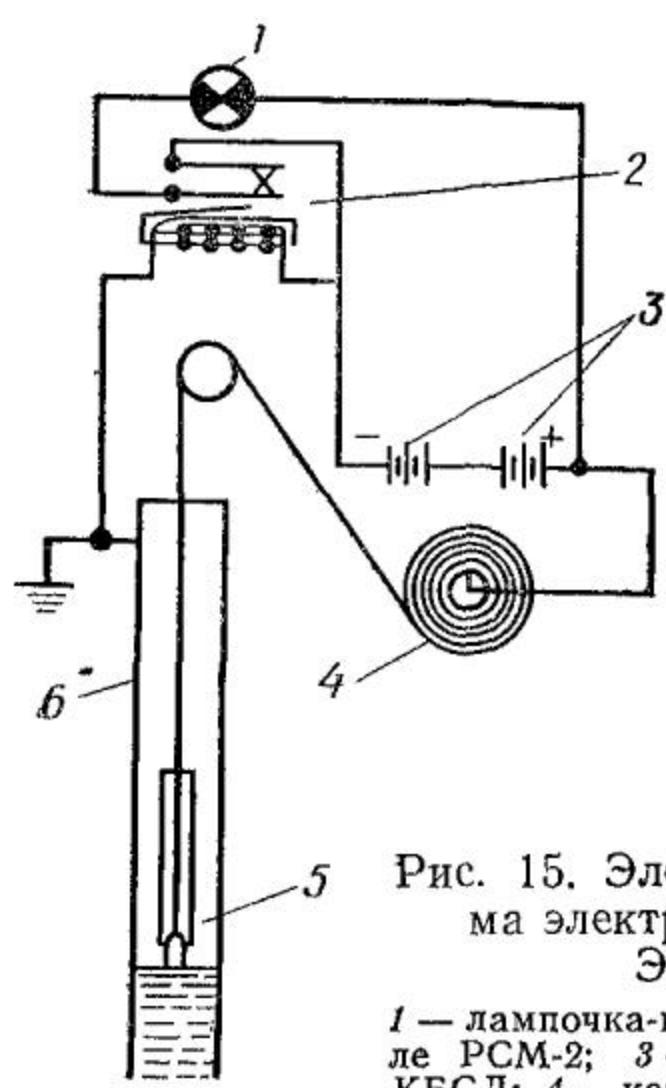


Рис. 15. Электрическая схема электроуровнемера ЭВ-ИМ:

1 — лампочка-индикатор; 2 — реле РСМ-2; 3 — батарейки типа КБСЛ; 4 — катушка с проводом; 5 — электрод; 6 — скважина

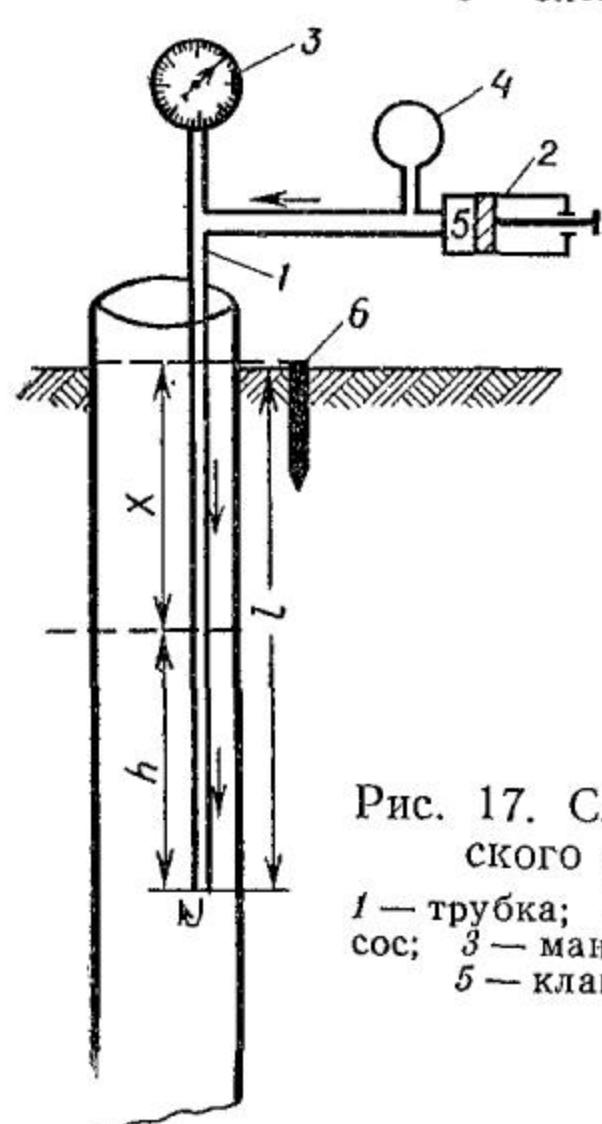


Рис. 17. Схема пневматического уровнемера:

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

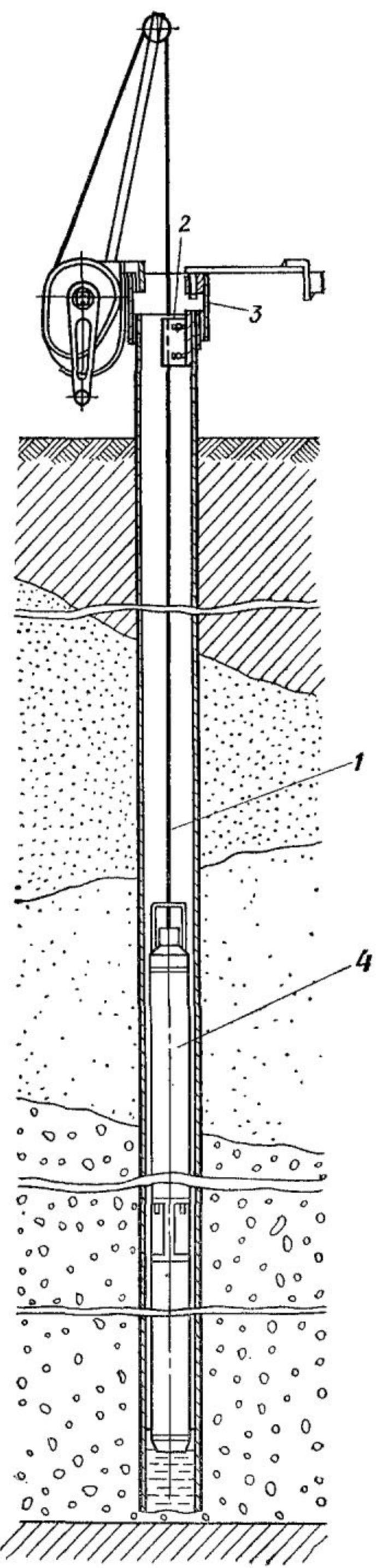


Рис. 16. Схема установки уровнемера ГГП-20 в скважине:

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

низкого качества мерного провода). Использование электроуровнемеров для замеров изменений уровня воды в одних и тех же скважинах позволяет повысить точность измерений до ± 1 —2 см.

Стационарные приборы используются для систематических или непрерывных измерений уровня воды в наблюдательных скважинах. К этой группе приборов относятся: барабанный уровнемер УВ-1 (диаметр поплавка до 60 мм, глубина замеров уровня до 60 м); самописец уровня воды СУВ-3 (непрерывная регистрация изменений уровня в скважинах диаметром от 76 до 203 мм, глубиной до 60 м, с погрешностью ± 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 цифропечатающий РУЦ-2М (автоматическое измерение и регистрация уровня воды в скважинах диаметром более 76 мм с предельной глубиной его положения 60 м); уровнемер ГГП-20 (автоматическое измерение и регистрация 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. 16 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-печатывающим устройством.

Для регистрации изменений уровня в центральной скважине при откаках помимо электроуровнемеров и хлопушек может использоваться пневматический уровнемер ПУР, схема которого показана на рис. 17. Глубина положения уровня воды в скважине x определяется как разность между длиной измерительной трубы b 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 самопищащие 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, 9).

Для измерения устьевых давлений в скважинах, дающих воду самоизливом, используются различные технические и регистрирую-

щие манометры, обеспечивающие точность замеров до 0,05—0,1 кгс/см² (0,49—0,98 Па).

Для измерения температуры подземных вод наиболее широко используются различных марок *ртутные термометры* (ТМ-1, ТМ-3, ТМ-4, ТМ-10, ТМ-14 и др.), обеспечивающие точность измерений $\pm 0,2\text{--}0,5^\circ\text{C}$, а также более высоко точные ртутные термометры ТЛ-4, ТЛ-18, ТЛ-21, ТР-1, ТР-2, ТР-3, ТР-4 (точность измерений до $\pm 0,01\text{--}0,05^\circ\text{C}$). 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. Весьма перспективным представляется использование для измерений температуры подземных вод *полупроводниковых термометров сопротивлений* (термисторов), которые достаточно чувствительны и практически безынерционны. Серийно выпускаются *стержневые термисторы* (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 хлонушками, 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—12).

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 $\pm 2\text{--}5\%$. При наличии электроэнергии для автоматического измерения и регистрации расходов воды целесообразно использовать *расходомеры* по-

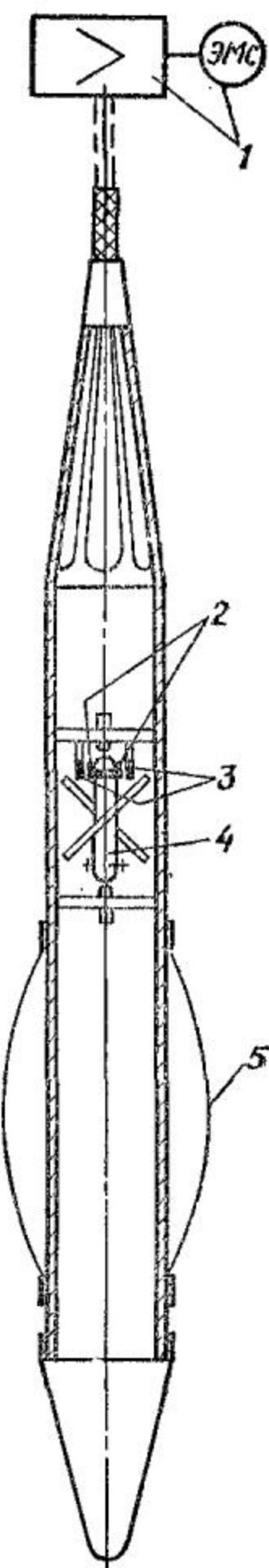


Рис. 18. Скважинный тахометрический расходомер ТСР-34/70Э.
1 — наземный пульт с электромеханическим счетчиком (ЭМС); 2 — фигурный прерыватель электрической схемы, 3 — токоподводящие электроды, 4 — ось крыльчатки; 5 — съемная центрирующая рессора

стоянного перепада давлений — *ротаметры* (при дебитах скважин до 63 м³/ч) и *электромагнитные расходомеры* (в диапазоне от 0 до 400 м³/ч).

Для измерения и регистрации расхода воды по стволу скважины применяются *скважинные расходомеры* (типа ТСР-70Ф, ТСР-43Э, ТСР-20Э, ДЛУЗ, 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. 18 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 весьма перспективными для исследований гидрогеологических скважин (6, 10).

Приборы и комплекты для опробования водоносных пластов. При бурении глубоких гидрогеологических скважин в устойчивых породах опробование водоносных пластов и зоннередко осуществляется с помощью специальных испытателей и опробователей пластов, опускаемых в скважины на бурильных трубах или кабеле. Изоляция испытуемых 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. Процесс притока воды в бурильные трубы (или специальную камеру) и характер изменения пластового давления под пакером фиксируется с помощью глубинных самопишуящих 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). 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. 19). После

спуска снаряда под весом бурильного инструмента закрывается уравнительный клапан испытателя, и резиновый элемент пакера 3 изолирует испытуемый 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. 20). В частности, для опробования неглубоких скважин применяется упрощенная компоновка снаряда с проведением откачки из-под пакерной зоны через бурильные трубы (рис. 20, в). Снаряд ИСВ может также использоваться для испытания колонн и цементных мостов, «оживления» закольматированных горизонтов, отбора проб воды на анализы.

Кроме рассмотренных типов пластоиспытателей в гидрогеологической практике используются снаряд СИП-З (аналогичен упрощенной модификации ИСВ, рис. 20, в), опробователь пластов с двумя пакерами ОПТС-8/10 («Саратовец»), а также специальные гидрогеологические опробователи пластов, опускаемые в скважины на кабеле с помощью картотажных 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 различных конструкций *пробоотборники*, начиная от простейшего (бутылка с пробкой и грузом на шнуре) и кончая современными пробоотборниками, обеспечивающими отбор проб воды и газа из скважин больших глубин (9, 10, 12).

Отбор проб воды из неглубоких скважин (без газовой составляющей) осуществляется *водоносами* ГГП-19 и ГГП-20, обеспечивающими глубину спуска до 60 м и объем отбираваемых 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 прибо-

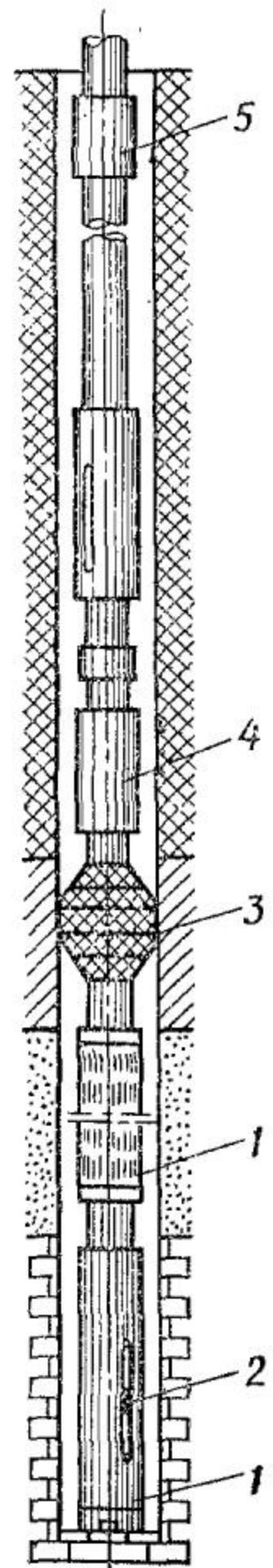


Рис 19 Испытательный снаряд ВСЕГИНГЕО ИСВ

1 — фильтр хвостовик, 2 — глубинный манометр; 3 — секционный пакер,
4 — испытатель пластов, 5 — запорный поплавковый клапан

ров составляет 60 мм. При использовании гидравлической воронки пробоотборники обеспечивают отбор проб воды и газа из вертикальных, наклонных и искривленных скважин с глубины до 1500 м. Например, *пробоотборник ПВ* (рис. 21) позволяет успешно отбирать пробы из скважин, в которых глубина статического уровня достигает 500 м и более от поверхности. При 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.

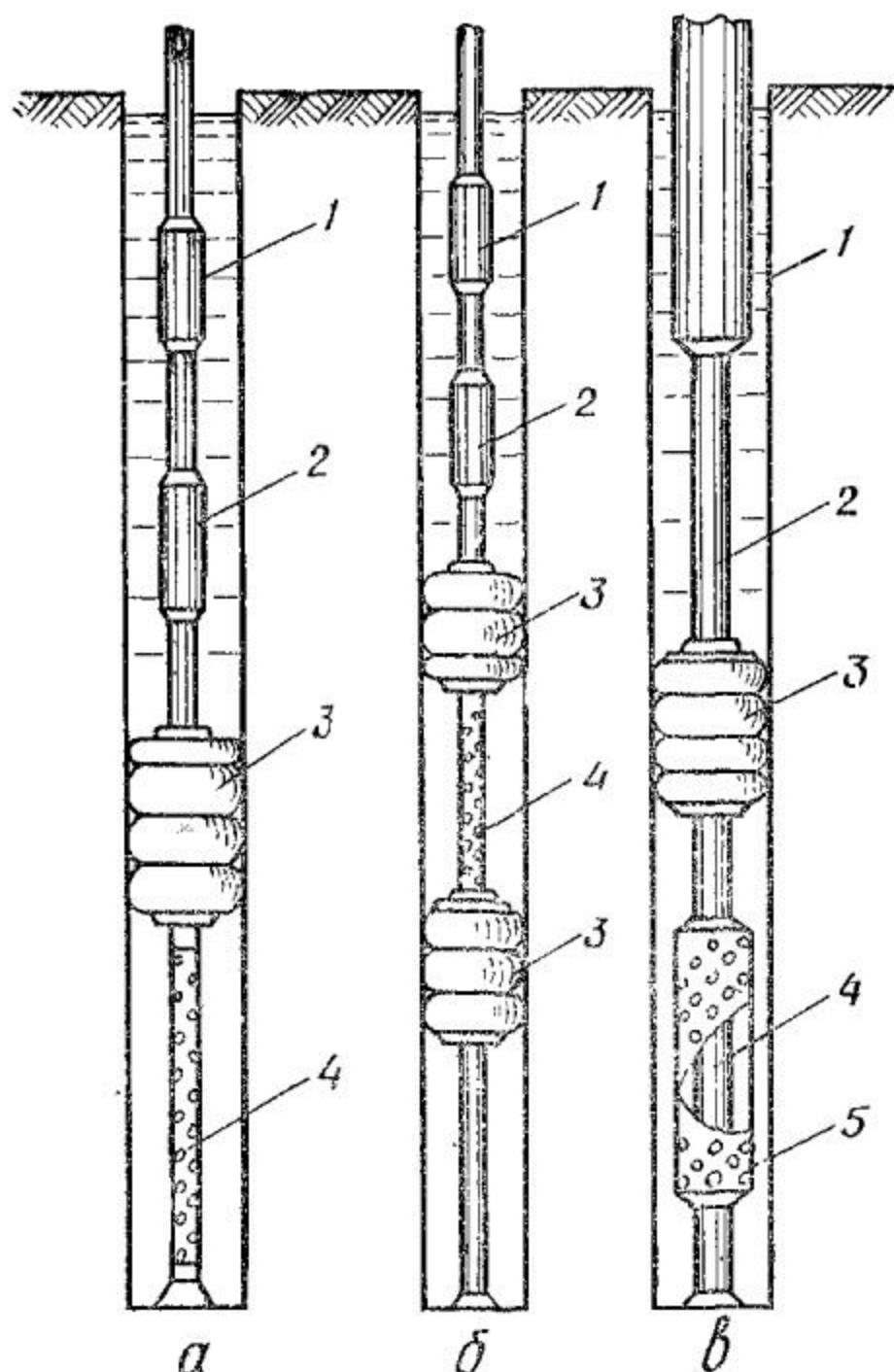


Рис. 20. Схемы применения снаряда ИСВ:
 а — с одним пакером; б — с двумя пакерами
 (1 — поплавковый клапан, 2 — узел с манометром, 3 — пакер, 4 — фильтр), в — упрощенная компоновка узлов снаряда для откачки из под пакерной зоны (1 — обсадные трубы, 2 — бурильные трубы, 3 — пакер, 4 — манометр, 5 — хвостовик)

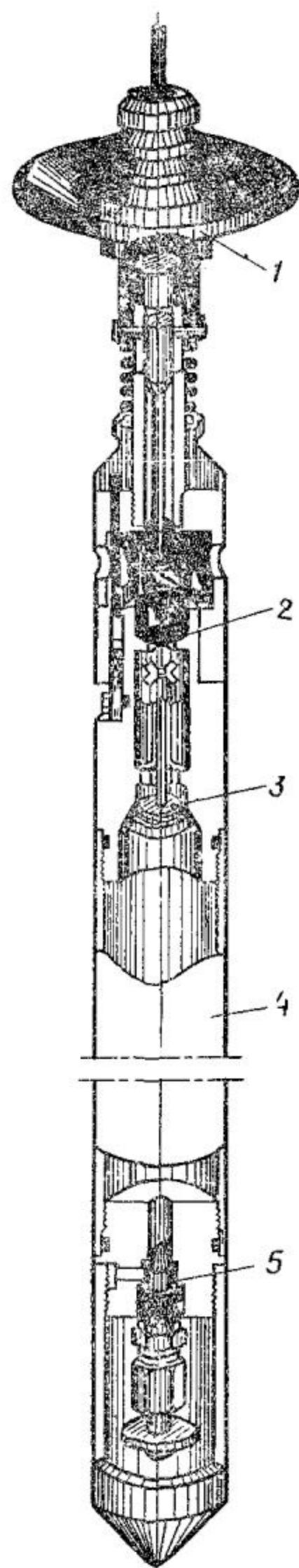


Рис. 21. Пробоотборник вакуумный ПВ.

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

При гидрогеологических исследованиях кроме рассмотренных в настоящем параграфе 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 проката обсадных колонн в интервалах опробования, флюотелевизионная аппаратура для изучения и обследования стволов скважин, приборы для сбора данных по оценке элементов водного баланса (спарители, влагомеры, лизиметры и др.), различного рода лабораторные приборы и оборудование и т. д. Детальное их описание и указания по их применению приводятся в специальной и справочной литературе (1—3, 6, 8—12). 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 трещиноватостью 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 выполненных гидрогеологических наблюдений отражаются в смежных рапортах, буровых журналах, паспортах скважин и других первичных документах (1—3, 11, 12).

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 или 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. 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 статическому уровню горизонта проверяется кратковременным доливом воды в скважину или ее откачкой из скважины. Восстановление уровня на прежней глубине свидетельствует о соответствии замеренного уровня статическому.

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 ценные 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 необводненных водопроницаемых пород.

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.

Наблюдения за литологическими особенностями, 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 грунтоны различных конструкций. Наибольшее практическое применение получили двойные колонковые трубы конструкции ТПИ, МГРИ, Львовуглегеологии, грунтоны 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 вскрытых 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, отываемому 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 вскрытых 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 водобильности. 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 вскрытых водоносных горизонтов осуществляется с по-

мощью желонок, водоносов и пробоотборников после предварительного оттартирования 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 газопроявлением 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 дебетов и измерениях уровней как в процессе откачек, так и после их прекращения (восстановление уровня). Результаты наблюдений фиксируются в журнале и таблицах с составлением гидрогеологической колонки по скважине (рис. 22). 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, ледок, 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.

<i>М</i>	<i>Воз- раст</i>	<i>Порода</i>	<i>Мощ- ность, м</i>	<i>Глубина подош- вь, м</i>	<i>Колон- ка</i>	<i>Статический уровень, м</i>
-10	<i>Q</i>	<i>Суглинок</i>				3,9 3,5 7,9 3,8 8,2 3,0 23
-20			24,0	24,0		
-30		<i>Песок мелкозернистый</i>	3,5	27,5		
-40		<i>Глина</i>				
-50	<i>N₂³</i>	<i>Песок мелкозернистый</i>	7,0	52,0		
-60		<i>Глина</i>	5,0	57,0		
-70		<i>Песок мелкозернистый</i>	9,0	66,0		
-80		<i>Глина</i>	2,0	68,0		
-90		<i>Песок мелкозернистый</i>	6,0	74,0		
-100		<i>Глина</i>	9,0	83,0		
-110		<i>Песок мелкозернистый</i>	5,9	88,0		
-120		<i>Глина</i>	7,0	95,0		
-130						
-140		<i>Глина</i>				
-150						
-160						
-170		<i>Песок мелкозернистый</i>	49,0	158,0		
-180		<i>Глина</i>	5,0	163,0		
-190						
-200		<i>Супесь</i>	28,0	191,0		
			11,0	202,0		

*Водоносные пласты,
испытанные специ-
альным опробовани-
ем в процессе буре-
ния*

Рис. 22. Гидрогеологическая колонка скважины

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 тоже подлежат гидрогеологическому обследованию и документации.

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 водоизмещения доступны в них непосредственному осмотру и визуальному изучению. При наблюдениях как в вертикальных, так и в горизонтальных выработках целесообразны фотографирование и зарисовки наблюдавшихся 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. Так, для решения многих гидрогеологических задач большое значение имеет тщательное изучение трещиноватости пород. Наблюдения за трещиноватостью позволяют установить: а) направление и угол падения трещин; б) количество трещин на квадратный метр площади; в) состав заполняющего материала; г) происхождение трещин (тектонические, выветривания, скола, напластования, карстовые); д) преобладающие системы трещин (горизонтальные, вертикальные); е) характер трещин (открытые, закрытые). В подземных горных выработках (штолнях, штреках и др.) могут возникать трещины, обусловленные горным давлением.

Наиболее крупные трещины полезно зарисовать в крупном масштабе с указанием основных размеров. Такие трещины целесообразно также сфотографировать и отметить на плане.

Следует обращать внимание на состояние и устойчивость горных пород в почве, кровле и стенах изучаемых горных выработок (штолен, штреков, шурfov и др.); тщательно фиксировать характер и особенности наблюдавшихся физико-геологических явлений и процессов (пучение, прорывы плавунцов, 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, за-

данных на склоне рельефа, или штолнях 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 быть констатированы 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.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Башкатов Д.Н., Роговой В.Л. Бурение скважин на воду. М., «Колос», 1976, 208 с
- 2 Башкатов Д.Н., Тесля А.Г. Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М., «Недра», 1970, 145 с
- 3 Белицкий А.С., Дубровский В.В. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. М., «Недра», 1974, 254 с
- 4 Васильевский В.Н., Петров А.И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., «Недра», 1973, 342 с
- 5 Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водоподпитательных и гидрогеологических скважин. Изд. 2-е М., Стройиздат, 1968, 397 с
- 6 Гринbaum И.И. Расходометрия гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. М., «Недра», 1975, 270 с.
- 7 Госстрой СССР. СНиП II-31—74. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., Стройиздат, 1975, 150 с
- 8 Опытно-фильтрационные работы. Под редакцией В.М. Шестакова и Д.Н. Башката. М., «Недра», 1974, 204 с
- 9 Петров Л.И. Методы и техника измерений при промысловых исследованиях скважин. М., «Недра», 1972, 272 с.
- 10 Плотников Н.И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., «Недра», 1973, 296 с
- 11 Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. Под ред. В.В. Дубровского. Изд. 2-е. М., «Недра», 1972, 512 с.
- 12 Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 2. Л., «Недра», 1967, 360 с.

ГЛАВА IV

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

Основным видом исследований при изучении месторождения подземных вод и решении разнообразных гидрогеологических задач является расчет 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 зависит 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) заливы и нагнетания в скважины, 3) заливы в шурфы, 4) экспресс-методы, 5) определение параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод, 6) лабораторные исследования, 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 точных 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 ощутимо 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, учиты-

вающим 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) расходометрию, применяющуюся в незакольматированных глинистым раствором ствалах скважин; 3) термометрию, проводимую в основном для изучения слабопроницающих 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, наливы и нагнетания в скважины, наливы в шурфы, экспресс-наливы 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 считавшиеся геофизическими методами разистивиметрия и расходометрия, являющиеся в своей основе гидродинамическими (замеры и анализ профиля расхода по-

тока 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.

Откачка подземной воды из буровых скважин, шурфов, канав и другого вида горных выработок проводится для разрешения различных задач, связанных с водоснабжением, орошением, осушением и др. Откачками чаще опробуются основные водоносные горизонты. По данным откачек определяют общий и удельный дебиты, величину понижения уровня, рассчитывают коэффициенты фильтрации, выявляют размеры, форму и темпы роста депрессионной воронки (при кустовой откачке), связь между отдельными водоносными горизонтами, а также гидравлическую связь подземных вод с поверхностными водотоками и водоемами; изучают взаимодействие скважин, возможности искусственного водопонижения для целей строительства инженерных сооружений и осушения месторождений.

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 водопроводимости $T = Kt$ или $T = Kh_{cr}$), радиус влияния R , *коэффициент пьезопроводности* a (или уровнепроводности для грунтовых вод), *водоотдача* пород в безнапорных потоках μ и *показатель упругой водоотдачи* μ^k , *показатель несовершенства* скважин ζ_0 , *параметр неретекания* 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 неустановившейся и установившейся фильтрации с акцентом на применение решений неустановившегося движения подземных вод. В связи с этим необходимо отметить, что до недавнего времени методика проведения и обработки результатов опытно-фильтрационных работ основывалась почти полностью на теории установившейся фильтрации, что неизбежно сказывалось и на эффективности гидрогеологических исследований (необходимость выполнения длительных опытно-фильтрационных работ до наступления стационарной фильтрации). В настоящее время широкое развитие получили методы проведения и обработки опытно-фильтрационных работ в условиях неустановившегося движения подземных вод. Наряду с повышением эффективности гидрогеологических исследований они позволяют получить более полные данные о параметрах потоков

подземных вод (в частности, параметры неустановившейся фильтрации: пьезопроводность, уровнепроводность, упругую водоотдачу). Вместе с тем в отдельных методических руководствах в силу традиционной приверженности методам теории установившейся фильтрации отдается необоснованное предпочтение по сравнению с методами определения параметров, основанными на формулах неустановившегося движения (9, 10).

Основной и наиболее распространенный вид опытно-фильтрационных работ — откачки, которым отдается предпочтение почти всегда при опробовании 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 наливы и нагнетания в скважины, опытные наливы в шурфы. Опытные нагнетания целесообразны при оценке фильтрационных свойств и удельного водопоглощения трещиноватых скальных и полускальных водоносных пород, а опытные наливы в скважины главным образом в неводонасыщенных рыхлых и трещиноватых породах зоны выветривания. Опытные наливы в шурфы используются для изучения водопроницаемости необводненных связных 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, расходометрии, 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

ются 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 водоемещающих пород, качества подземных вод, получения сравнительной характеристики на различных участках и зонах. Пробные откачки (выпуски) проводятся кратковременно (6—24 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, водопроводимости, 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 зависимости между дебитом скважины и понижением уровня; 4) определения величин срезок уровня в пределах участка расположения водозабора при совместной работе нескольких взаимодействующих эксплуатационных скважин. Круг вопросов определяется конкретными местными условиями и поставленными задачами.

Опытные откачки подразделяются на *кустовые* и *одиночные*. Одиночные опытные откачки проводятся для установления зависимости дебита от понижения уровня. В связи с этим (в отличие от пробных) одиночные опытные откачки проводятся с двумя-тремя ступенями 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 гидрохимических 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. 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 операций 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 неустановившийся характер. Однако уже через сравнительно небольшой период времени вокруг опытной скважины начинает развиваться зона с квазиустановившимся характером режима (кривые депрессии в этой зоне перемещаются параллельно самим себе). По мере дальнейшего развития депрессионной воронки на ее формирование могут оказывать влияние перетекание из смежных в разрезе горизонтов, дополнительные источники питания, границы пласта в плане и другие факторы. В зависимости от характера действия указанных факторов режим движения подземных вод может стабилизироваться (при открытых границах и дополнительном питании) или оставаться неустановившимся (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 неустановившейся и квазиустановившейся фильтрации, используя первый период откачки, так и по формулам установившейся фильтрации на основе на-



Внимание!
страница
временно отсутствует.
Приносим извинения.

линейный II , характеризующийся логарифмической зависимостью понижения уровня от времени и отвечающий периоду квазиустановившейся фильтрации.

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

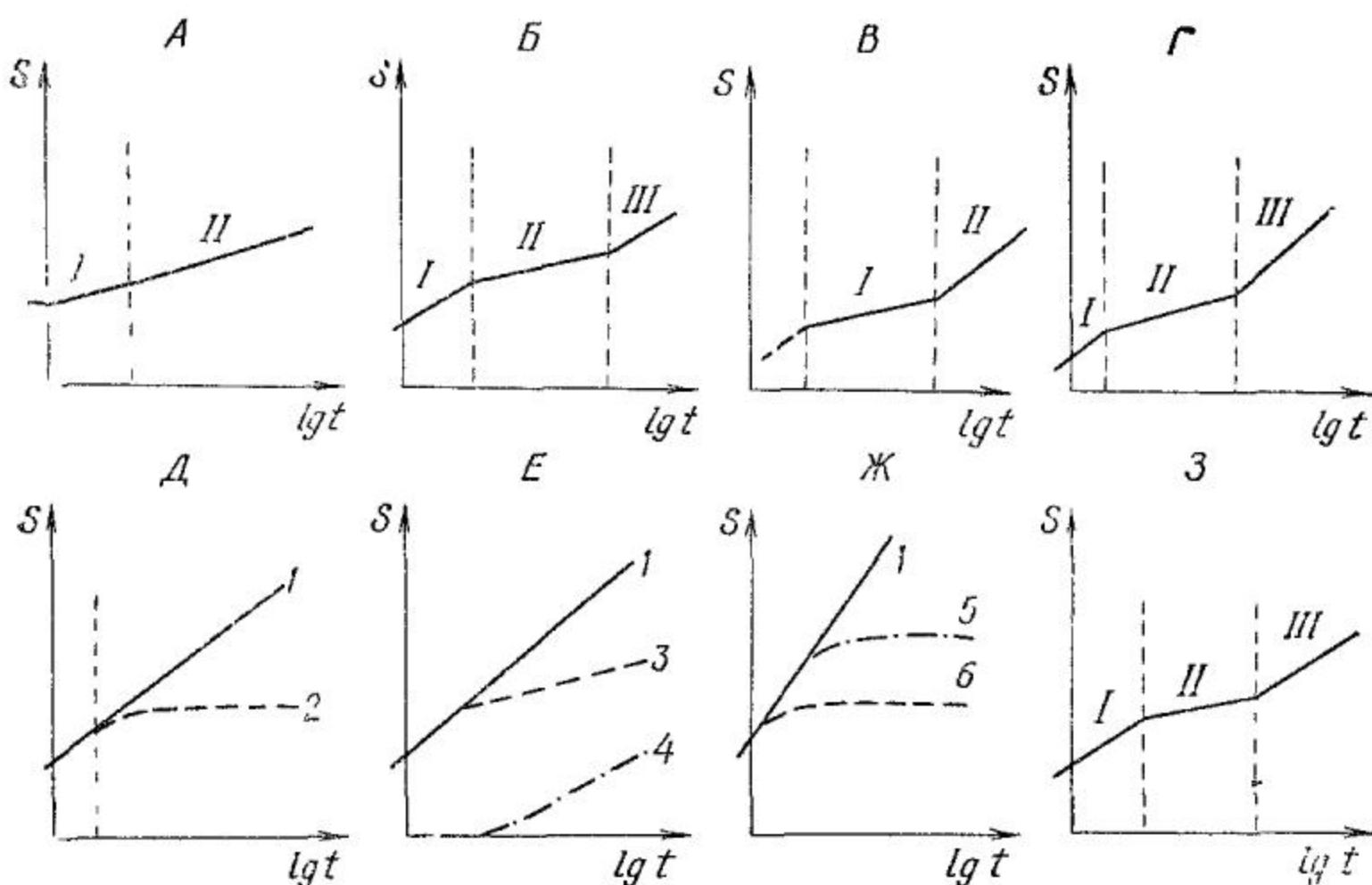


Рис. 23 Закономерности изменения уровня при откачках в типовых гидрогеологических условиях. A — неограниченный напорный однородный пласт; B — безнапорный пласт; C — пласти, сложенные трещиноватыми и трещинно-карстовыми породами; D — двухслойная толща с изменяющимся напором в верхнем слое; E — слоистая толща с разделяющим водоупором при переменном напоре в верхнем слое; F — водоносный пласт у реки, G — 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

представлена в виде ее логарифмического приближения $W(u) \approx \ln(2,25at/r^2)$ и выражение (IV.1) приобретает вид

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \left(\ln \frac{2,25at}{r^2} \right) = \frac{Q}{2\pi T} \left(\ln \frac{1,5\sqrt{at}}{r} \right) = \frac{0,366Q}{T} \left(\lg \frac{1,5\sqrt{at}}{r} \right). \quad (\text{IV.2})$$

Уравнение (IV.2) аналогично формуле Дююи для стационарной фильтрации. Это позволяет использовать традиционные приемы теории установившейся фильтрации для определения параметров в условиях квазиустановившегося режима движения подземных вод.

При откачке из безнапорного неограниченного в плане горизонта (рис. 23, B) режим движения подземных вод может быть осложнен

нен проявлением вертикальных составляющих скорости 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 (4, 15, 18, 21).

В общем случае (рис. 23, *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 выпадение 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.

Следует отметить, что физическая сторона процессов, осложняющих закономерности изменения уровня подземных вод во времени, изучена недостаточно. Анализ фактических данных показывает, что первые два участка отмечаются далеко не на всех графиках. Однако неизученность процессов изменения водоотдачи, отсутствие строгих теоретических решений не позволяют заранее предсказать условия, в которых могут возникнуть эти осложнения, и обеспечить их учет.

Аналогичные отмеченным закономерности поведения уровня наблюдаются при откачках из водоносных горизонтов, сложенных трещиноватыми и трещино-карстовыми породами (рис. 23, *В*) и из двухслойной толщи с изменяющимся напором в верхнем слое (рис. 23, *Г*). Детальный анализ закономерностей поведения уровня при откачках для этих и других типовых схем, изображенных на рис. 23, приведен в специальных методических руководствах (4, 11, 15); там же даны и рекомендации по проведению опытных работ и интерпретации их результатов в конкретных условиях.

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 (3, 4, 12, 18).

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 рассматриваемое 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:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{-E_2 \left(-\frac{r^2}{4at_2} \right)}{-E_1 \left(-\frac{r^2}{4at_1} \right)}. \quad (\text{IV.3})$$

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 наблюденных понижений S_2/S_1 , находят расчетное значение пьезопроводности a .

При найденном значении пьезопроводности коэффициент водопроводности 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 $u_1 = r^2/4at_1$, $u_2 = r^2/4at_2$.

Удобные для практического применения приемы подбора с использованием вспомогательных графиков и таблиц предложены В. М. Шестаковым (3, 5, 12) и Э. А. Грикевичем (17). Однако метод подбора нельзя признать надежным, так как определение параметров осуществляется по двум замерам. Для более обоснованного определения параметров этим методом следует проводить повтор-

ные 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 проводится до удовлетворительного их совпадения по большинству точек при условии сохранения параллельности координатных осей (рис. 24). Снимая далее координаты любой точки совмещенного графика $\lg S$, $\lg W$, $\lg(t/r^2)$ и $\lg(1/u)$, определяют водопроводность T и пьезопроводность соответственно из уравнений.

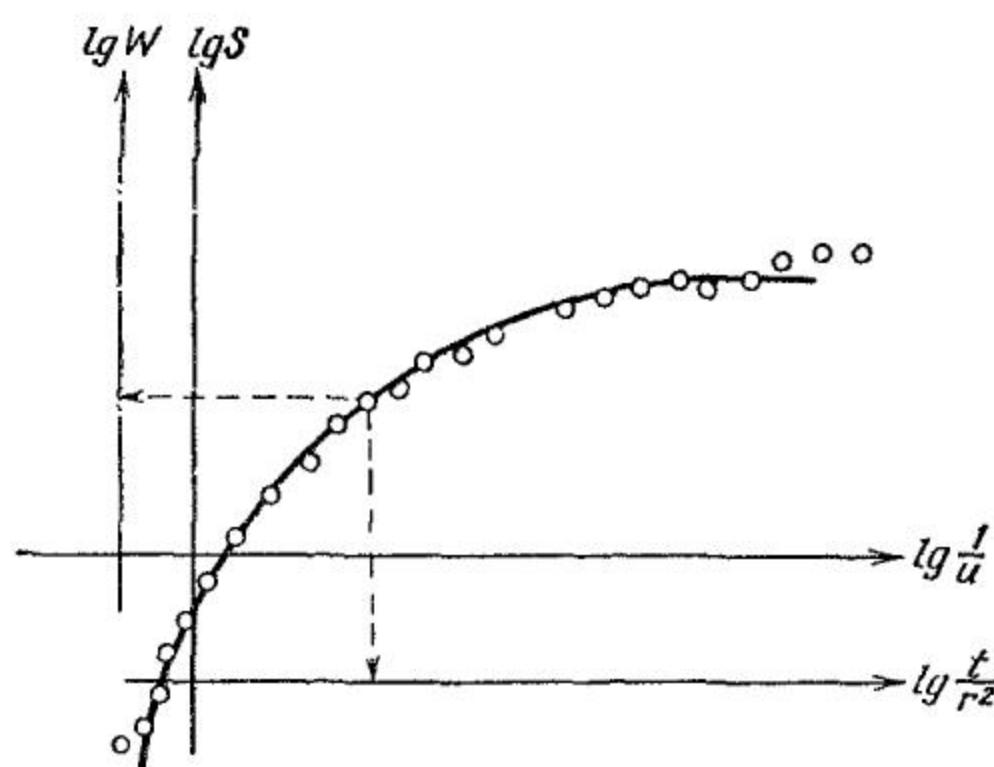


Рис. 24 Схема к определению параметров методом эталонной кривой

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

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 их совпадения можно судить о соответствии исходного уравнения (IV.1) реальным условиям фильтрации при откачке, а также о степени однородности и изолированности опробуемого горизонта (15).

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 (5, 8, 11, 17).

В условиях квазистабилизации фильтрации, время наступления которой t_K при точности замены экспоненциальной функции логарифмической до 10% определяется критерием $t_K \geq 1,7(r^2/a)$, возможно использование графоаналитических и аналитических методов, основанных на логарифмической зависимости понижения уровня от времени, т. е. на исходной формуле (IV.2).

Наиболее широким распространением в практике гидрогеологических расчетов пользуются *графоаналитические методы* определе-

ния 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, может быть представлено в виде следующих трех формул:

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

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

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

Все три приведенные формы записи одного и того же уравнения (IV.2) представляют собой уравнения прямой линии в разных системах координат: (IV.6) — в координатах $S - \lg t$; (IV.7) — в координатах $S - \lg(r^2/t)$ и, наконец, (IV.8) — в координатах $S - \lg r$ (рис. 25). Угловой коэффициент каждой из прямых, описываемых

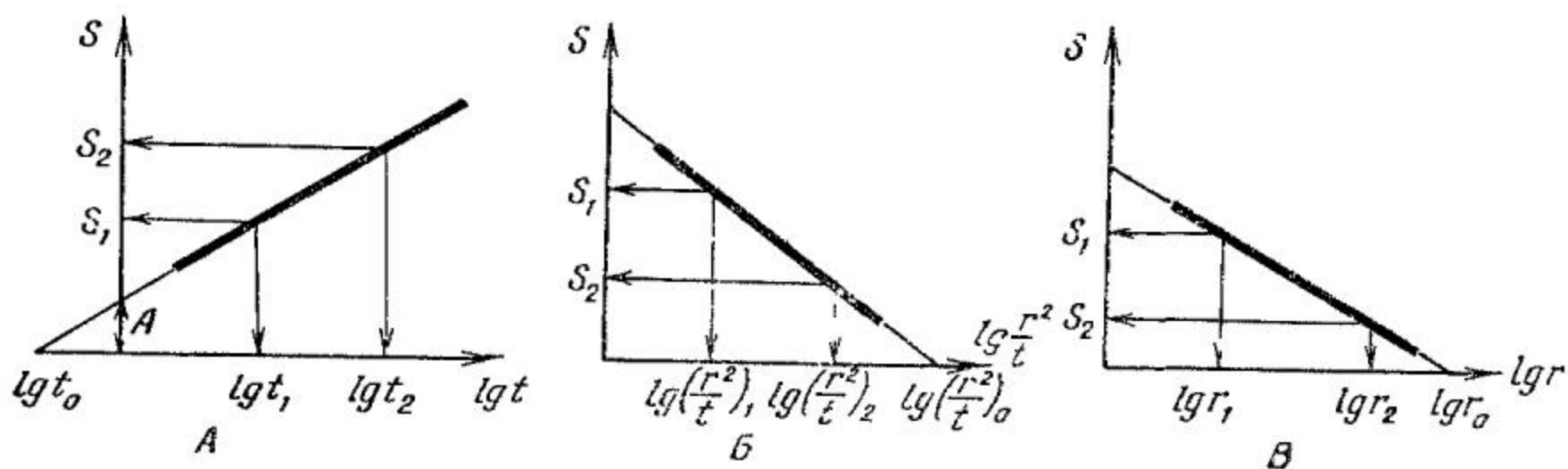


Рис. 25. Графики зависимости (A, B, C)

$$S = f(\lg t), \quad S = f\left[\lg\left(\frac{r^2}{t}\right)\right] \quad \text{или} \quad S = f(\lg r)$$

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 выше формами исходных уравнений можно использовать три способа обработки данных опытных откачек. 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. 25, A).

Обработка и представление опытных данных в виде графиков $S=f[\lg(r^2/t)]$ и $S=f(\lg r)$, описываемых соответственно уравнениями (IV.7) и (IV.8), возможны при наличии достаточного количества наблюдательных скважин (не менее трех-четырех).

Ниже для примера дается более обстоятельное описание одного из графоаналитических методов определения параметров, который в практике гидрогеологических исследований называют *способом временного прослеживания* (4, 18).

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

$$\frac{0,183Q}{T} \lg \frac{2,25a}{r^2} = A \text{ и } \frac{0,183Q}{T} = B, \quad (\text{IV.9})$$

получаем уравнение прямой линии в виде

$$S = A + B \lg t. \quad (\text{IV.10})$$

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 и B , а из них с учетом соотношений (IV.9) — значения водопроводимости T и коэффициента пьезопроводности a . Величина A представляет собой начальную ординату прямой $S=f(\lg t)$, т. е. отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат. Величина B 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 (см. рис. 25, А).

$$B = \frac{(S_2 - S_1)}{(\lg t_2 - \lg t_1)}. \quad (\text{IV.11})$$

Значения коэффициентов водопроводимости и пьезопроводности определяются соответственно по формулам:

$$T = \frac{0,183Q}{B} \text{ и } \lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B}. \quad (\text{IV.12})$$

В методических рекомендациях ВСЕГИНГЕО предлагается определять упругую водоотдачу μ^* по графику $S=f(\lg t)$. Для расчета берется отрезок, отсекаемый прямой по оси абсцисс $\lg t_0$, и определяется μ^* по формуле

$$\mu^* = \frac{2,25T}{r^2 t_0}, \quad (\text{IV.13})$$

где t_0 — время, определяемое величиной отрезка $\lg t_0$ на графике $S=f(\lg t)$.

Если опытная скважина несовершенная, 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:

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B} - 0,434 \zeta, \quad (\text{IV.14})$$

где ζ — величина гидравлического сопротивления, учитывающая несовершенство скважины (определяется по графикам или таблицам в зависимости от l_0/m и m/r) (3, 5, 8, 12, 16). 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 15—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 выражющийся прямой линией, уравнение которой имеет вид

$$(2H_e - S)S = \frac{0,366Q}{K} \lg \frac{2,25a}{r^2} + \frac{0,366Q}{K} \lg t. \quad (\text{IV.15})$$

Снимая с графика значения коэффициентов A (отрезок, отсекаемый на оси ординат) и B (угловой коэффициент прямой), определяют коэффициенты фильтрации K и уровнепроводности a соответственно из выражений (IV.16):

$$K = \frac{0,366Q}{B} \text{ и } \lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A}{B}. \quad (\text{IV.16})$$

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 водопроводимости или коэффициента фильтрации, определяемых по формулам (IV.12) и (IV.16), зависит только от размерности дебита. При измерении Q в $\text{м}^3/\text{сут}$ размерность водопроводимости будет $\text{м}^2/\text{сут}$, а коэффициента фильтрации — $\text{м}/\text{сут}$; при измерении Q в $\text{м}^3/\text{ч}$ размерность Kt будет $\text{м}^2/\text{ч}$, а K — $\text{м}/\text{ч}$ и т. д.

При определении параметров по центральной скважине в формулы (IV.12), (IV.14) и (IV.16) подставляется $r=r_c$, а по наблюдательной — расстояние ее до центральной. Как показывает опыт, определение коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности) по центральной скважине обычно дает неудовлетворительные ре-

зультаты из-за неучета сопротивлений, возникающих в призабойной зоне. Поэтому для достоверного определения значений a рекомендуется использовать опытные данные по наблюдательным скважинам.

Определение параметров методом временного прослеживания возможно проводить также и по результатам наблюдений за восстановлением уровня воды после откачки в центральной и наблюдательных скважинах. При этом, как правило, получаются более качественные результаты, чем по данным о снижении уровней вследствие отсутствия влияния на условия проведения опыта разнообразных технических причин.

При определении параметров по данным восстановления уровней методика обработки результатов аналогична изложенной выше, только вместо понижений берутся повышения уровней, отсчитываемые от динамических уровней, замеренных перед окончанием откачки. За расчетный дебит принимается расход скважины в процессе откачки. Время t при построении графика $S=f(\lg t)$ принимается от конца откачки. Для построения графика используются только замеры уровня, входящие по времени в интервал от t_1 до t_2 , где $t_1 \leq 1,1 t_0$, а $t_2 \leq 1,1 t_1$. Таким образом, за начальную точку при построении графиков восстановления уровней принимается момент времени $t_1 \leq 1,1 t_0$ (где t_0 — длительность откачки), а за конечную — момент времени, отвечающий условию $t_2 \leq 1,1 t_1$.

При не очень длительных откачках обработку данных о восстановлении уровней в скважинах следует вести с учетом продолжительности откачки. В качестве уравнения, описывающего восстановление уровня, используется следующее выражение:

$$S = \frac{0,183Q}{T} \lg \frac{(t_0 + t)}{t}. \quad (\text{IV.17a})$$

График строится в координатах $S - \lg[(t_0 + t)/t]$ (где t — время восстановления, отсчитываемое от конца откачки, t_0 — длительность откачки). Значение водопроводимости T определяется по формуле (IV.12), где B — угловой коэффициент прямой, снимаемый с прямолинейной части графика $S - \lg[(t_0 + t)/t]$. Пересечение графика с осью ординат дает полную величину восстановления уровня S_{\max} . Это позволяет определять отметку статического уровня воды в скважине, не проводя полного цикла наблюдений за восстановлением. Величину коэффициента пьезопроводности можно определять по формуле (18)

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{S_{\max}}{B} - \lg t_0. \quad (\text{IV.17b})$$

Аналогично изложенному проводится определение параметров графоаналитическим методом с использованием графика $S = f[\lg(r^2/t)]$, аппроксимирующего зависимость (IV.7), и графика $S = f(\lg r)$, аппроксимирующего зависимость (IV.8). Эти способы обработки опытных данных для определения параметров получили соответ-

венно название комбинированного и площадного способов прослеживания (4, 8, 18).

При комбинированном прослеживании для построения графика $S=f[\lg(r^2/t)]$ используются результаты одновременных замеров понижения уровня в нескольких наблюдательных скважинах (чем больше используется наблюдательных точек, тем надежнее и достовернее будут определяемые параметры). Возможно и желательно построение таких графиков проводить для нескольких моментов времени (графики должны быть параллельны один другому) и тем самым контролировать соответствие принятой расчетной схемы реальным условиям фильтрации в процессе откачки. Снимая с прямолинейной части графика $S=f[\lg(r^2/t)]$ начальную ординату A и угловой коэффициент B , определяют значения коэффициентов водопроводности T и пьезопроводности a соответственно по формулам:

$$T = \frac{0,183Q}{B} \text{ и } \lg a = \frac{A}{B} - 0,35. \quad (\text{IV.18})$$

Значение коэффициентов упругой водоотдачи μ^* и пьезопроводности a можно определять по величине отрезка $\lg(r^2/t)_0$, отсекаемого прямолинейным графиком $S=f[\lg(r^2/t)]$ по линии нулевого понижения (на оси абсцисс, см. рис. 25, *Б*) соответственно по формулам:

$$\mu^* = \frac{2,25T}{\left(\frac{r^2}{t}\right)_0} \text{ и } a = 0,445 \left(\frac{r^2}{t}\right)_0. \quad (\text{IV.19})$$

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 (см. рис. 25, *Б*).

При обработке результатов откачки способом *площадного прослеживания* по единовременным замерам понижения в наблюдательных скважинах (при $t=\text{const}$) строится график $S=f(\lg r)$. Определение значений параметров T и a осуществляется аналогично выше изложенному с использованием величин A (начальная ордината) и B (угловой коэффициент), снимаемых для прямолинейной части графика $S=f(\lg r)$, по зависимостям (IV.20):

$$T = \frac{0,366Q}{B} \text{ и } \lg a = 2 \frac{A}{B} - 0,35 - \lg t. \quad (\text{IV.20})$$

По величине отрезка $\lg r_0$, отсекаемого прямой $S=f(\lg r)$ по линии нулевого понижения (см. рис. 25, *Б*), можно определять:

$$\mu^* = \frac{2,25tT}{r_0^2} \text{ и } a = 0,445 \frac{r_0^2}{t}. \quad (\text{IV.21})$$

Располагая значениями водопроводности и пьезопроводности, определенными по преобразованным графикам понижения или вос-

становления 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 $\bar{S}_t = f[\lg(R_u/r_c)]$, откладывая по оси абсцисс значения $\lg(R_u/r_c)$ (где на каждый момент времени величина радиуса влияния определяется по зависимости $R_u = 1,5\sqrt{at}$), а по оси ординат — значения $\bar{S}_t = 2\pi K m S_t / Q$ (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 отсекать на оси ординат отрезок, численно равный величине показателя суммарного сопротивления скважины ξ_0 (рис. 26).

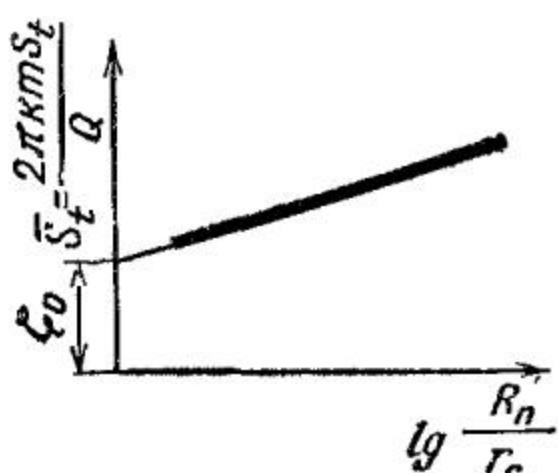


Рис. 26 Графоаналитическое определение показателя ξ_0

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 основных модификаций (IV.6—IV.8) исходного уравнения квазиустановившейся фильтрации. При сопоставлении понижений уровня в одной точке на два момента времени для определения водопроводимости и пьезопроводности используются формулы:

$$T = \frac{0,183Q}{S_2 - S_1} \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right); \quad (\text{IV.22})$$

$$\lg a = \frac{5,47S_1}{Q} - \lg \left(\frac{2,25t_1}{r^2} \right). \quad (\text{IV.23})$$

При сопоставлении понижений по двум точкам на один и тот же момент времени t водопроводимость T определяется по формуле

$$T = \frac{0,366Q}{S_1 - S_2} \lg \left(\frac{r_2}{r_1} \right), \quad (\text{IV.24})$$

а пьезопроводность — по (IV.25):

$$\lg a = \frac{5,47TS_1}{Q} - \lg \left(\frac{2,25t}{r_1^2} \right). \quad (\text{IV.25})$$

Поэтому 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 (IV.24) оказывается идентичной соответствующей формуле установившейся фильтрации. Это лишний раз подтверждает обоснованность 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.

Аспекты применения аналитических зависимостей для определения параметров по результатам замеров понижений уровня при установившейся (квазиустановившейся) фильтрации не исчерпываются изложенными приемами. В частности, на основе сопоставления понижений уровня по двум наблюдательным скважинам за один момент времени достоверно определяется величина водоотдачи грунтовых вод по методу Н. И. Бишкемана, выявляется величина показателя несовершенства ζ_0 центральной скважины, оценивается радиус влияния в условиях установившейся фильтрации R и решаются другие задачи (3—5, 8—19).

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».

Учет непостоянства дебита 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 требуется 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 дебигом.

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 непостоянное понижение уровня в наблюдательных скважинах. Это приводит к необходимости применения различных способов определения параметров: для опыт-

ной (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.26):

$$Q_t = \frac{TS_c}{0,183 \lg \left(\frac{2,25at}{r_c^2} \right)} \quad \text{при } \frac{at}{r_c^2} > 100, \quad (\text{IV.26})$$

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

Представляя зависимость (IV.26) в виде уравнения прямой линии $1/Q_t = A + B \lg(t)$, где $B = 0,183/TS_c$ — угловой коэффициент, а A — начальная ордината прямолинейной части графика $1/Q_t = f(\lg t)$, получаем возможность определения водопроводимости по величине углового коэффициента B :

$$T = \frac{0,183}{BS_c}. \quad (\text{IV.27})$$

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.28):

$$\Delta H = 30,9 \frac{Q^{1,85} L}{d^5}, \quad (\text{IV.28})$$

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

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 $S/Q = A + B \lg t$ (при временном прослеживании), $S/Q = A - B \lg r$ (при площадном прослеживании) и $S/Q = A + B \lg(t/r^2)$ (при комбинированном прослеживании).

Коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности определяются по угловым коэффициентам и начальным ординатам прямолинейных частей получаемых графиков по формулам, приведенным в табл. 2.

Для обеспечения более достоверного определения параметров и контроля обработку данных опытных выпусков следует вести всеми возможными способами. Контрольное время, начиная с которого можно использовать предложенные способы обработки опытных данных, определяется критерием

$$t > \frac{r^2}{0,4a}. \quad (\text{IV.29})$$

Таблица 2

Способ обработки, график	Расчетные формулы для определения параметров	
	водопроводности	пьезопроводности
Временное прослеживание $S/Q = f(\lg t)$	$T = 0,183/B$	$\lg a = 2\lg r - 0,35 + A/B$
Площадное прослеживание $S/Q = f(\lg r)$	$T = 0,366/B$	$\lg a = 2A/B - 0,35 - \lg t$
Комбинированное прослеживание $S/Q = f(t/r^2)$	$T = 0,183/B$	$\lg a = A/B - 0,35$

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 параболическом характерах изменения дебита (4, 11, 15, 18). По аналогичной методике обрабатываются и данные групповых выпусков, когда в качестве дебита Q_t рассматривается суммарный дебит возмущающих скважин, а в качестве расстояния r до наблюдательных скважин принимается приведенное расстояние $r_{\text{пр}}$.

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).

В основе решений для обработки данных таких опытов лежит метод наложения течений, в соответствии с которым суммарное понижение уровня нескольких возмущающих скважин равно алгебраической сумме понижений уровня, вызванных действием каждой скважины системы.

После несложных преобразований формула понижения уровня при групповой откачке из системы разновременно включенных скважин принимает следующий вид:

$$S = \frac{0,183 Q_{\text{сумм}}}{T} \lg \left(\frac{2,25 a t_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}^2} \right). \quad (\text{IV.30})$$

Значения $t_{\text{пр}}$ и $r_{\text{пр}}$ определяются как средневзвешенные по дебитам действующих скважин из выражений:

$$\lg t_{\text{пр}} = \frac{[Q_1 \lg t + Q_2 \lg (t - t_2) + \dots + Q_n \lg (t - t_n)]}{Q_{\text{сумм}}}, \quad (\text{IV.31})$$

$$\lg r_{\text{пр}} = \frac{[Q_1 \lg r_1 + Q_2 \lg r_2 + \dots + Q_n \lg r_n]}{Q_{\text{сумм}}}, \quad (\text{IV.32})$$

где $Q_{\text{сум}} — суммарный дебит системы; Q_1, Q_2, \dots, Q_n — дебиты соответствующих скважин; t — текущее время опыта с начала работы первой скважины; t_1, \dots, t_n — время подключения соответствующих скважин; r_1, r_2, \dots, r_n — расстояние от этих скважин до точки, где определяется понижение уровня; (t-t_1), \dots, (t-t_n) — время действия каждой из скважин системы. Знак плюс в формулах означает включение отдельных скважин системы, минус — их остановку.$

Обработка группового асинхронного опыта проводится путем временного, площадного и комбинированного прослеживания понижения уровня на основе графиков в координатах $S-\lg t_{\text{пр}}$, $S-\lg r_{\text{пр}}$, $S-\lg(t_{\text{пр}}/r_{\text{пр}}^2)$ аналогично изложенному ранее для опытов с постоянным дебитом. Остаются справедливыми и все предложенные расчетные формулы (IV.16), (IV.18) и (IV.20) с той лишь разницей, что в них понимается $t=t_{\text{пр}}$ и $r=r_{\text{пр}}$ (4, 18).

Обработка результатов наблюдений за восстановлением уровней после откачки с переменным дебитом обычно осуществляется по методике, аналогичной ранее изложенной для откачек с постоянным дебитом, однако такая аналогия допустима лишь при соответствующем учете характера возмущения в процессе откачки (путем введения значений $t_{\text{пр}}$ и $r_{\text{пр}}$, определяемых в соответствии с условиями изменения дебита). В зависимости от быстроты восстановления уровня определение параметров основывается на построении графиков $S^*-\lg[(t_0+t)/t]$ или $S^*-\lg t$. Соответствующие обоснования приемов обработки результатов наблюдений за восстановлением уровня и рекомендуемые расчетные формулы приведены в специальных руководствах (4, 5, 11, 15, 18, 21).

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. Влияние этих факторов на режим уровней в процессе опытных работ требует применения своеобразных способов обработки опытных данных и приемов интерпретации их результатов. Тем не менее на многих участках оказывается возможным использовать способы временного, площадного и комбинированного прослеживания, детально рассмотренные выше 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, при выполнении общего условия о наличии квазистабилизирующейся фильтрации ($t > t_k > 1,7r^2/a$) для определения параметров рассматриваются скважины, расположенные в зоне $m \leq r \leq (0,3 \div 0,45)l$, где m — мощность опробуемого пласта, l —

расстояние до его ближайшей границы. Более детально методы обработки и интерпретации результатов опытных работ в ограниченных пластиах изложены в специальной литературе (4—6, 8, 11, 15, 18).

Другие методы определения параметров в сложных гидрогеологических условиях основаны на использовании зависимостей, учитывающих влияние проницаемых и непроницаемых границ пласта в плане и в разрезе, а также особенности строения области фильтрации. В данном случае, как и для схемы неограниченного пласта, широко применяются графоаналитические методы, основанные на линейной аппроксимации исходных зависимостей, а также аналитические зависимости, получаемые на основе точных или приближенных решений (2, 4—6, 8, 11, 15, 21). Наиболее широко практикуются решения для полуограниченных, полосообразных и замкнутых пластов, а также пластов, имеющих простые по конфигурации границы раздела зон неоднородности (главным образом, это методы Ф. М. Бочевера, В. М. Шестакова и Ю. О. Зеегофора, Е. Л. Минкина, В. А. Максимова, М. С. Хантуша, В. А. Мироненко и Л. Н. Сердюкова, В. Д. Бабушкина, Л. В. Боревского и др.).

Для простейших схем полуограниченных потоков, когда на условия притока воды к скважине в процессе откачки влияет одна из границ потока (проницаемая с $H = \text{const}$ или непроницаемая с $Q = \text{const} = 0$), расчеты параметров можно выполнять по аналитическим формулам, приведенным в настоящем параграфе для неограниченного пласта, с введением в них вместо действительных расстояний r_i от наблюдательных скважин до центральной и радиуса центральной скважины r_c некоторых приведенных значений r_i^* и r_c^* , которые учитывают характер и положение границы потока. При расположении скважин у контура постоянного напора (река, озеро, канал) принимают $r_i^* = r_i/\rho_i$ и $r_c^* = r_c/\rho_c$, у непроницаемого контура — соответственно $r_i^* = r_i\rho_i$ и $r_c^* = r_c\rho_c$, где ρ_i и ρ_c — расстояние от реальных наблюдательных и центральной скважин до зеркального отражения центральной скважины относительно рассматриваемого контура (рис. 27).

Так, например, при откачке из одиночной скважины в папорном потоке у реки для определения водопроводимости может использоваться формула Ф. Форхгеймера, откуда

$$T = \frac{0,366Q}{S} \lg \left(\frac{\rho_c}{r_c} \right). \quad (\text{IV.33})$$

При кустовой откачке и наличии двух наблюдательных скважин (рис. 27) величину водопроводимости можно определять по парам

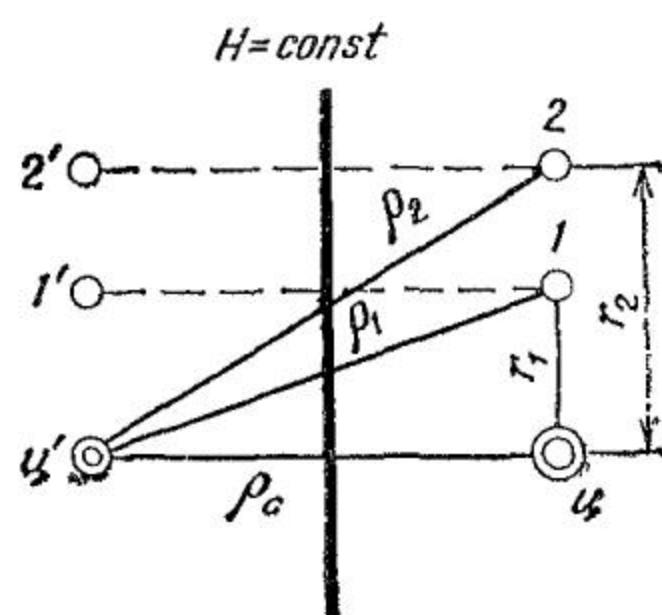


Рис. 27 Схема к расчету параметров по данным кустовой откачки в полуограниченном пласте

скважин (центральная — наблюдательная либо две наблюдательные) по формулам, аналогичным формуле (IV.24), которая с учетом значений r_i^* и ρ_i^* приобретает вид

$$T = \frac{0,366Q}{S_1 - S_2} \lg \left(\frac{r_2 \rho_1}{r_1 \rho_2} \right). \quad (\text{IV.34})$$

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

Говоря о методах определения параметров ограниченных в плане водоносных образований, следует несколько остановиться на своеобразном приеме определения так называемых обобщенных параметров, под которыми В. А. Грабовников и Б. М. Зильберштейн 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 пласта, продолжительности и последовательности осуществления откачки, контроля ее проведения, обоснования конструктивных особенностей опытных и наблюдательных скважин.

Пробные откачки выполняются на всех стадиях гидрогеологических исследований. На стадии поисков их основная цель — получение сравнительной характеристики фильтрационных свойств пласта на отдельных участках распространения водоносного горизонта и качества подземных вод, а также для определения свободной или гидрометрической поверхности подземных вод. На стадиях предварительной и детальной разведки пробные откачки проводятся из разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин для предварительного определения возможной производительности скважин,

как правило, на одну ступень понижения уровня продолжительностью не более 1—1,5 сут.

Одиночные опытные откачки проводятся на стадиях предварительной и детальной разведки из разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин с целью определения коэффициента фильтрации (водопроводимости) и главным образом 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 (4, 16, 18). Продолжительность откачки определяется временем стабилизации понижения уровня на каждой из ступеней.

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

Другие вопросы методики проведения опытных кустовых откачек — основного вида опытно-фильтрационных работ рассмотрены ниже более детально.

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 в период меженного 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.

В качестве общих для всех видов откачек рекомендаций следует отметить следующее.

Откачки необходимо проводить с максимально возможным (для выбранного насосного оборудования) постоянным во времени водоотбором, обеспечивая значительное снижение уровня в пределах опробуемой части пласта (не менее 3—5 м в опытных скважинах и не менее 0,3—0,5 м в наблюдательных). Продолжительность откачек должна обеспечивать определение искомых параметров наиболее надежными методами (как правило, основанными на анализе закономерностей квазистабилизированной фильтрации), исходя из чего она должна составлять не менее 2—3 сут. Опытные скважины должны быть по возможности совершенными по степени и характере

ру вскрытия горизонтов, а ближайшие наблюдательные скважины, как правило, расположеными на расстояниях, превышающих мощность опробуемого пласта. Для более точного определения параметров призабойной зоны желательно наличие затрубного пьезометра, а для оценки характера и степени влияния естественных условий обязательно наличие режимных скважин вне зоны влияния откачки.

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 откачу прекращают до полного восстановления пониженного уровня воды

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.).

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.

Для обеспечения надежного определения расчетных гидрогеологических параметров, их осреднения и контроля количество наблюдательных скважин в опытном кусте должно быть не менее трех (при наличии принципиальной возможности определения всех параметров по одной-двум наблюдательным скважинам). В сложных природных условиях (трещинные и трещинно-карстовые типы водопроницаемых горизонтов, наличие перетекания и затрудненной связи подземных вод с поверхностными, существенная неоднородность пластов и т. п.) целесообразно иметь 4–5 наблюдательных скважин. Если имеется возможность увеличить число 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 (обычно практикуются одно — трехлучевые схемы). Двухлучевые схемы опытных кустов используются при опробовании анизотропных (лучи — по осям анизотропии) и ограниченных пластов (лучи — параллельные и перпендикулярные границам). Возмущающие скважины (в зависимости от необходимой степени возмущения их может быть от одной до четырех) целесообразно располагать компактно в вершинах наблюдательных лучей, в зоне квазистационарного режима. Такое размещение скважин должно обеспечить достаточные срезки уровней, исключение влияния разнообразных помех (границ, прискважинной зоны и др.) и получение качественных графиков временного и площадного прослеживания. Ниже предлагается полуэмпирическая зависимость для определения расстояний r_n от опытной скважины до соответствующей наблюдательной (4):

$$r_n = r_1 \alpha^{n-1}, \quad (IV.35)$$

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 (рис. 28).

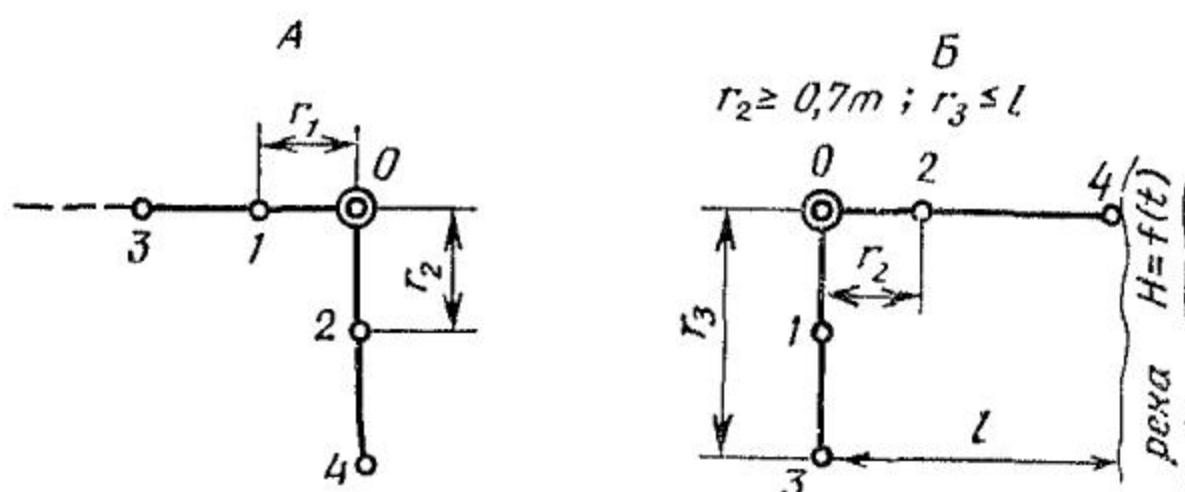


Рис. 28 Схема опытного куста. А — в неограниченном пласте, Б — при связи пласта с рекой.
0 — опытная скважина, 1, 2, 3, 4 — наблюдательные скважины

В формуле (IV.35) 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. 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).

Опытные кусты для опробования водоносных горизонтов и степень их взаимосвязи с рекой рекомендуется размещать по двухлучевой схеме (перпендикулярно и параллельно реке) с расположением не менее двух наблюдательных скважин на каждом из лучей (одна обязательно на урезе реки, другая вблизи опытной, как показано на рис. 28, Б).

В табл. 3 приведены обобщенные рекомендации по размещению первой и второй наблюдательных скважин при проведении кустовых откачек в напорных и безнапорных водоносных горизонтах, сложенных породами различного состава при ориентировочной продолжительности откачек 3—5 сут в напорных горизонтах и 5—10 сут в грунтовых водах (16).

Таблица 3

Водоносные породы	Гидравлический характер горизонта	Максимальное расстояние, м	
		до первой наблюдательной скважины	до второй наблюдательной скважины
Пески мелко- и средне-зернистые	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	10	15
Пески крупнозернистые	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	15	30
Гравийно-галечниковые отложения	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	25	40
Трещиноватые породы	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	30	50

Указанные 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. В условиях быстрого установления уровней в процессе откачек последние могут быть прекращены через 1—2 сут после начала стабилизации. При опробовании трещиноватых водоносных пород, а также при проведении кустовых откачек с целью оценки степени взаимосвязи подземных и поверхностных вод (величины гидравлического сопротивления подрусловых отложений) и определения параметров перетекания в условиях слоистых толщ может потребоваться увеличение их продолжительности до 15—30 сут при весьма значительном водоотборе (4, 16, 18).

При проведении опытных откачек необходимо обеспечивать постоянство дебита возмущающих скважин, компактное их размещение и синхронный пуск (при групповых откачках). Опробование скважин, дающих воду самоизливом, возможно при условии постоянства понижения уровня с обязательным получением информации об изменении уровня по наблюдательным скважинам.

Количество откачиваемой воды должно обеспечивать снижение уровней не менее 3—4 м в опытных скважинах и не менее 0,2 м в наиболее удаленных наблюдательных скважинах (при такой же разности понижений по соседним наблюдательным скважинам) при ориентировочной ее продолжительности 5—10 сут.

Необходимый дебит при откачках рекомендуется определять на основе графика зависимости $\lg Q = f(\lg K_m)$, представленного на рис. 29, и обобщающие опытные данные по разведке 30 месторождений подземных вод различного типа и результаты многочисленных аналитических расчетов (4). Диапазон практикуемых при опробовании дебитов показан на графике пунктиром, расчетный график дебита откачки в зависимости от водопроводимости опробуемых горизонтов $\lg Q = f(\lg T)$ — сплошной линией.

Дебит при откачке и рекомендуемое количество возмущающих скважин определяются по графику на основе данных о характере водопосыпных пород и их ориентировочной проводимости. Как следует из графика, при опробовании гравийно-галечниковых и трещинно-карстовых водообильных горизонтов может возникнуть необходимость в групповой откачке из 2—4 скважин с дебитами каждой из них 20—45 л/с.

Как уже отмечалось в общих рекомендациях, целесообразно стремиться к оборудованию совершенными и наблюдательными скважинами полностью и закреплять их в пластах значительной несовершенными, по прибытии поперечные оси фильтров

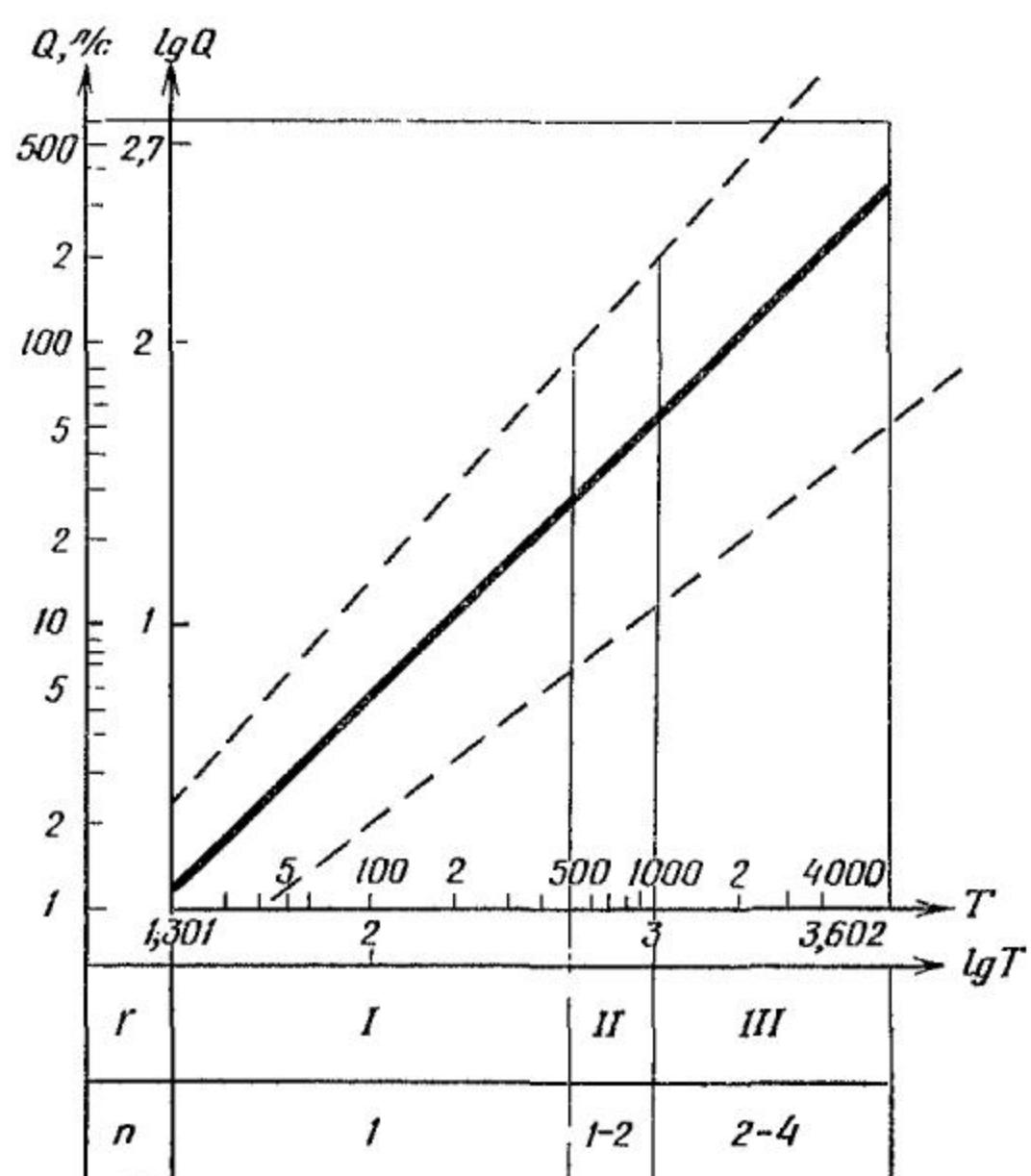


Рис 29 График зависимости $\lg Q = f(\lg T)$ для определения дебита опытной откачки (по оси абсцисс — T в $\text{м}^2/\text{сут}$ и $\lg T$, по оси ординат — Q в $\text{л}/\text{с}$ и $\lg Q$) (по Б. В. Боревскому и Б. Г. Самсонову).

Г — опробуемые горизонты (*I* — пески и слабые песчаники дочетвертичных отложений, трещинные некарстующиеся водовмещающие породы, *II* — пески аллювиальных и аллювально-пролювиальных отложений четвертичного возраста, трещинно-поровые горизонты с мелким рассеянным карстом, *III* — галечники и гравийно-галечники с песчаным заполнителем, трещинно-карстовые водоносные горизонты), *n* — рекомендуемое количество возмущающих скважин. Пунктиром показан диапазон практикуемых значений дебита при откатах

к опытных кустов, в которых опытные
ны вскрывали бы водоносный горизонт
фильтрами со скважностью 10—20%.
гости скважины куста могут быть
ом необходимо стремиться к тому, что-
в 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.

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 (3, 9, 10—18).

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 $S=f(\lg t)$.

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 $S=f(\lg t)$, 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 наливы 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 слaboобводненных и необводненных пород зоны аэрации. Для оценки фильтрационных свойств верхней части зоны аэрации (до глубин не более 5 м) применяют также наливы в шурфы.

Опытные нагнетания и наливы 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 (10 – 14).

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 наливы 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. 14.

Опытные наливы 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 наливы проводятся при отсутствии наблюдательных скважин. Однако в целях получения более точных показателей 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 установленнымся, если опыт ведется с постоянным напором (или расходом) до стабилизации расхода (или напора), или неустановившимся, 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 неустановившейся 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. 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 кольматации, гидроразрыва и др.). Соответствующие расчетные зависимости для определения коэффициента фильтрации по результатам наливов и нагнетаний в водоносные породы (формулы Ж. Дюпон, В. Д. Бабушкина, И. Н. Веригина, В. М. Насберга и др.) для совершенных и несовершенных скважин приведены в справочной и специальной литературе (5, 10—15, 19).

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 л/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 понтервально (стандартный интервал 5 м) при нескольких ступенях напора. Построенным в результате опыта графикам зависимости расхода и напора от времени определяют величины установившегося напора и расхода для каждой ступени напора и вычисляют величины приведенных расходов q_0 (л/мин на 1 пог. м) путем деления установившегося расхода (л/мин) на длину интервала (l). 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 В. Д. Бабушкина:

$$K = 0,525 q' \lg \left(\frac{al}{r_c} \right), \quad (IV.36)$$

где a — 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 расчленить 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 интервала до осветления воды не гарантирует хорошего качества очистки. Чтобы уменьшить колматацию полостей породы, желательно скважины, опробуемые опытными нагнетаниями, особенно в интервалах, расположенных выше уровня подземных вод, бурить с обратной промывкой.

Нагнетание в необводненных породах 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 весьма перспективными. Определение действующего напора при нагнетании в необводненные породы весьма 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 уставившемся 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 (10). Для осуществления опытов по этой методике в скважинах необходимо обеспечить напоры, в 10—12 раз превышающие длину испытуемого интервала (что позволяет не учитывать влияние гравитационных сил). Практическое использование этой методики ограничивается трудностями технического порядка. Более широко используются методика В. М. Насбера, разработанная для условий установившейся фильтрации, и В. М. Шестакова и Г. И. Баренблата в условиях неустановившейся фильтрации (5, 10, 11, 13, 15, 21).

Нагнетания в скважину. При нагнетании воды в сухие породы через скважину с постоянным расходом происходит изменение уровня 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

$$K = \frac{0,183Q}{m(h_2 - h_1)} \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right), \quad (\text{IV.37})$$

для определения активной пористости

$$\lg \mu = \lg \frac{Qt_1}{\pi m r_c^2} - d \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right), \text{ где } d = \frac{h_1 + 0,5m}{h_2 - h_1}. \quad (\text{IV.38})$$

При наличии наблюдательной скважины, в которой фиксируется время появления воды от начала опыта t_n , расчеты параметров ведутся соответственно по формулам:

$$K = \frac{0,356Q}{(h_n + 0,5m)m} \lg \left(\frac{r}{r_c} \right) \text{ и } \mu = \frac{Qt_n}{\pi m (r^2 - r_c^2)}, \quad (\text{IV.39})$$

где h_n — столб воды в центральной скважине в момент появления воды в наблюдательной скважине.

Наливы в скважину по методу В. М. Насбера. Для определения коэффициента фильтрации сухих пород при глубоком залегании грунтовых вод по методу Насбера вода наливается в скважину так, что ее уровень не превышает верхней части фильтра. Для вычисления коэффициента им рекомендуется следующая расчетная формула (19):

$$K = 0,423 \frac{Q}{h_c^2} \lg \left(\frac{2h_c}{r_c} \right), \quad (\text{IV.40})$$

где h_c — созданная наливом высота столба воды в скважине над нижним концом фильтра ($h_c = \text{const}$).

Формула применима в однородных изотропных породах при условии $50,0 < h_c/r_c < 200$, т.е. для скважин диаметром от 50 до 400 мм при столбе воды в них 5—10 м (рис. 30).

Опытные нагнетания воздуха. В последнее время при изучении фильтрационных свойств необводненных пород практикуются нагнетания в изолированный интервал скважины не воды, а воздуха. Этот метод рекомендуется для определения фильтрационных характеристик трещиноватых, рыхлых и некоторых типов связных горных пород, а также для расчленения необводненных пород по степени их водопроницаемости. В основу метода положен закон А. Дарси, справедливый для фильтрации жидкостей и газов в пористой среде:

$$v = -\frac{K_n \gamma_w}{\mu_w} \cdot \frac{dH}{de}, \quad (\text{IV.41})$$

где K_n — коэффициент проницаемости; γ_w и μ_w — объемная масса и динамический коэффициент вязкости воздуха.

Применение для нагнетаний воздуха исключает необходимость учета гравитационных и капиллярных сил, резко снижает колматацию пор и трещин в процессе опыта, дает возможность проведения опытов в отсутствие воды. Вместе с тем проведение этих опытов сопряжено с некоторыми трудностями технического характера (обеспечение и контроль расчетного количества воздуха, необходимость достижения высокой чувствительности системы замеров давления воздуха в наблюдательных точках, тщательный контроль и регулирование условий проведения опытов и др.).

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

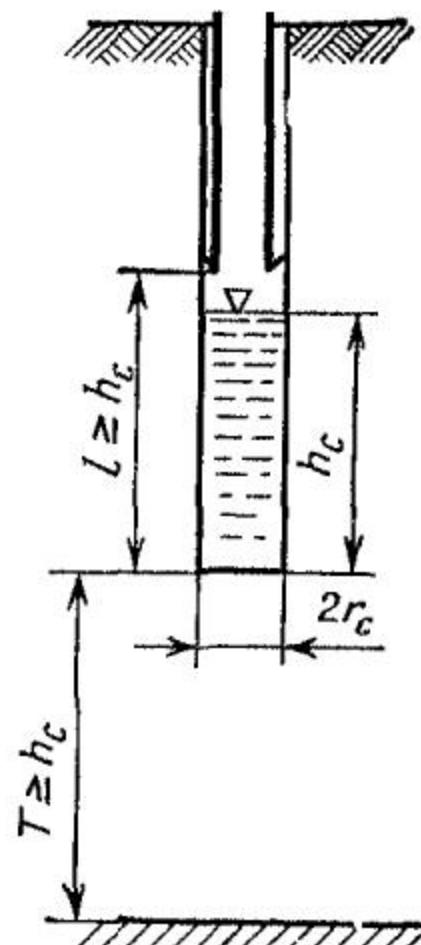


Рис. 30. Схема опытного палива в необводненные породы по методу В М Насберга

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 незопроводности, величина активной пористости (пустотности) пород, фильтрационная анизотропия. Самым важным вопросом, определяющим достоверность оценки расчетных параметров, является обоснованность расчетной схемы, принимаемой для обработки результатов опытных нагнетаний.

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 шурfov и снятии характеристик инфильтрационного потока в условиях постоянного уровня воды в шурфе в процессе опыта. Метод инфильтрации воды из шурfov, предложенный впервые А. К. Болдыревым, применяется сейчас в различных модификациях (по Н. С. Нестерову, Н. К. Гиринскому, Н. Н. Биндеману и др.). В процессе опыта смыкание инфильтрующейся 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 осложниться боковым растеканием инфильтрационного потока и влиянием защемленного в породах воздуха.

С достаточной для целей практики точностью влияние защемленного 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:

$$K_w = K \left(\frac{W - W_0}{n - W_0} \right)^{3,5}, \quad (\text{IV.42})$$

где W_0 — влажность, при которой начинается интенсивное движение гравитационной воды в породах (соответствует максимальной молекулярной влагоемкости волях единицы по А. Ф. Лебедеву); n — пористость пород волях единицы.

Влияние бокового растекания может учитываться, не учитываться или частично исключаться в процессе опыта.

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

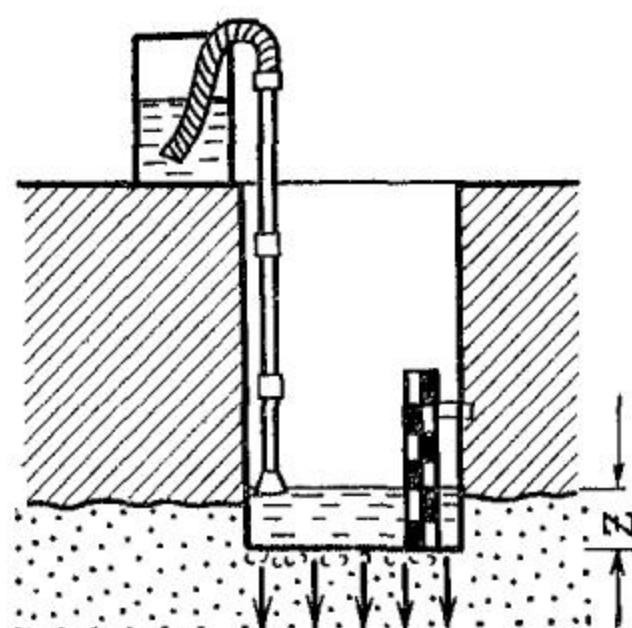


Рис. 31. Схема опытной инфильтрации воды из шурфа по способу А. К. Болдырева

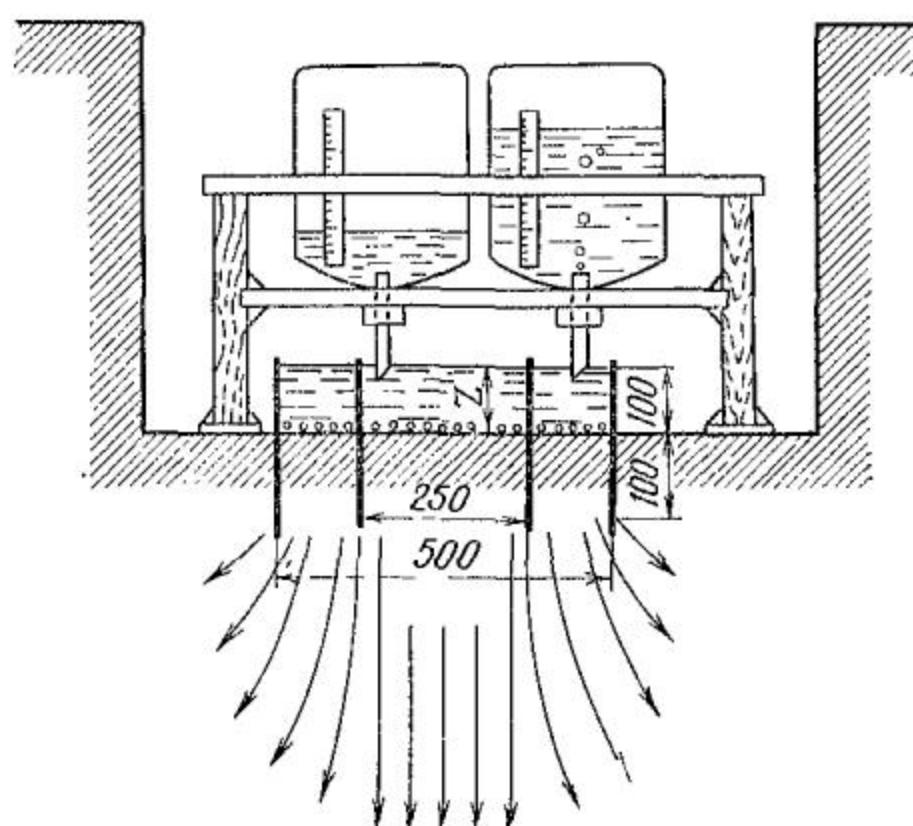


Рис. 32. Схема установки для опытов по инфильтрации из шурфа по способу Н. С. Нестерова (цифрами даны размеры установки в мм)

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. 31).

Расход воды Q через площадь поперечного сечения фильтрующей воды ω определяется по формуле

$$Q = \omega K \left(\frac{h_K + Z + l}{l} \right), \quad (\text{IV.43})$$

где h_K — капиллярное давление, развивающееся при инфильтрации; Z — толщина слоя воды в шурфе; l — глубина просачивания воды.

Пренебрегая капиллярным давлением и принимая в процессе длительной инфильтрации напорный градиент близким к единице, коэффициент фильтрации из формулы (IV.43) можно определить при известном расходе потока Q как скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице:

$$K = v = \frac{Q}{\omega}, \quad (\text{IV.44})$$

где Q — стабилизировавшийся в процессе опыта расход воды.

При определении коэффициента фильтрации по формуле (IV.44) действительно можно принимать напорный градиент близким к единице, так как величина l намного больше Z и, следовательно, $I = (l+Z)/l \approx 1$. 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 концентрическо два стальных цилиндра разного диаметра, вдавливая их на глубину 5—10 см (рис. 32). 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, расходуется на просачивание, боковое растекание и капиллярное всасывание. Вода, заполняющая внутренний цилиндр, расходуется главным образом на инфильтрацию в вертикальном направлении, что позволяет приблизенно принимать поперечное сечение инфильтрационного потока равным поперечному сечению внутреннего цилиндра. Следовательно, этот метод значительно упрощает определение поперечного сечения потока.

Для определения глубины просачивания бурятся две скважины небольшого диаметра: одна — на расстоянии 3—4 м от стенки шурфа до опыта и другая — в центре внутреннего кольца по окончании опыта. Глубина просачивания устанавливается по величине влажности породы. Вычисление коэффициента фильтрации ведется по формуле

$$K = \frac{Ql}{\omega(h_K + Z + l)}, \quad (\text{IV.45})$$

где Q — установившийся фильтрационный расход через внутреннее кольцо опытной установки; l — глубина просачивания воды от шурфа за время опыта; Z — слой воды в кольцах

Способ Нестерова дает лучшие результаты в слабопроницаемых породах, особенно в покровных суглиниках и лессах. К недостаткам способа относится приближенный учет капиллярного растекания и длительность проведения опытов.

Способ Н. К. Гиринского Он 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

$$K = a\zeta Q, \quad (\text{IV.46})$$

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 $l_0/d = 0,05$ $a = 1,1$); ζ — коэффициент, величина которого зависит от значения $h_K + Z$ и диаметра кольца (здесь Z — слой воды в кольце, см).

Ниже приведены значения ζ при диаметре цилиндра $d = 35$ см. Значение коэффициента ζ при других диаметрах кольца (от 35 до 50 см) приведены в специальной литературе (14, 19).

$Z + h_K$, см .	10	15	20	30	35	40	45	50	55
ζ	5,56	4,40	3,64	3,08	2,69	2,37	2,12	1,92	1,75
$Z + h_K$, см .	60	65	70	75	80	85	90	95	100
ζ	1,61	1,49	1,38	1,29	1,13	1,07	1,01	0,96	0,91

Метод Н. К. Гиринского целесообразно применять для определения коэффициента фильтрации песчаных и суглинистых пород.

Способ Н. Н. Биндемана. Для определения коэффициента фильтрации при инфильтрации из шурфов по способу Н. С. Нестерова Н. Н. Биндеман предложил обрабатывать результаты опыта по формулам неуставновившейся фильтрации.

Расчет коэффициента фильтрации проводится по формуле

$$K = \frac{\beta V}{\omega t}, \quad (\text{IV.47})$$

где V — объем воды, израсходованной за время t от начала опыта; β — коэффициент, величина которого зависит от l/Z и определяется выражением $\beta = 1 - [(Z + h_K)/l] \ln [1 + l/(Z + h_K)]$.

Для облегчения расчетов величина β определяется по вспомогательному графику (рис. 33) в зависимости от t/t_1 , где под t_1 принимается промежуток времени от начала опыта, за который объем воды на инфильтрацию V_1 составляет половину объема воды, израсходованной на инфильтрацию за время t (время t_1 легко устанавливается по кривой израсходованного объема воды — $V = f(t)$).

Метод Н. Н. Биндемана удобен, прост и не требует длительного проведения опыта (стабилизация расхода воды во времени не обя-

зательна); 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. Точность определения K увеличивается с увеличением длительности опыта, поэтому желательно по результатам нескольких определений строить график $K = f(t)$ и принимать за расчетное предельное значение K по этому графику (K уменьшается во времени, асимптотически приближаясь к величине, определяемой способом Н. С. Нестерова (13—15).

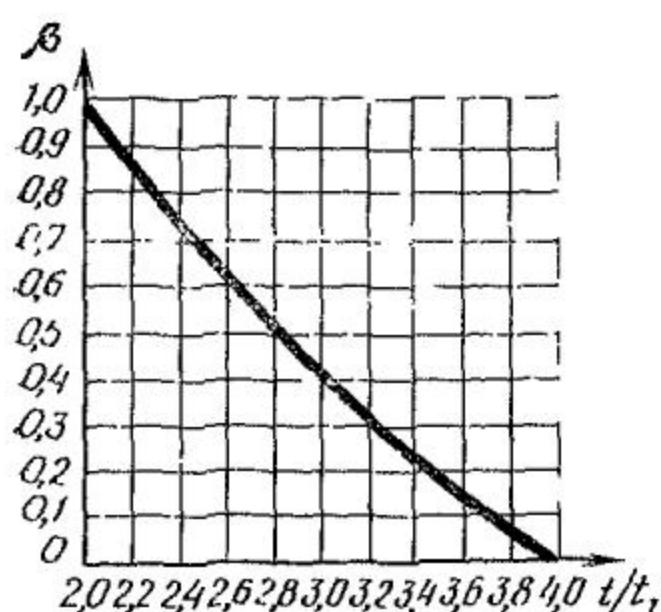


Рис. 33. Вспомогательный график

$$\beta = f\left(\frac{t}{t_1}\right)$$

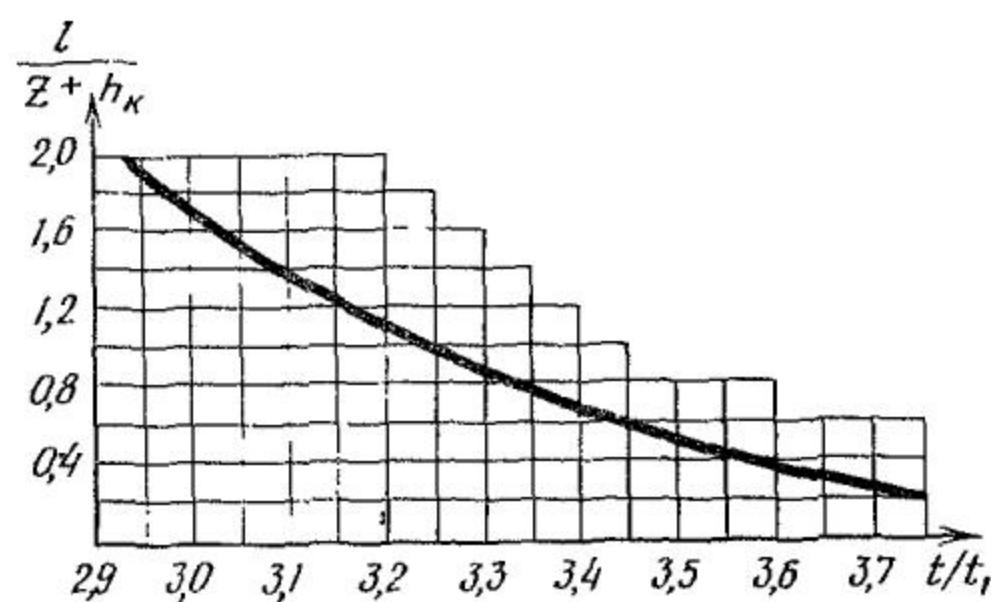


Рис. 34. Вспомогательный график

$$\frac{l}{Z + h_K} = f\left(\frac{t}{t_1}\right)$$

Наряду с определением коэффициента фильтрации пород по методу Биндемана можно определять величину капиллярного давления h_K и недостаток насыщения μ , т. е. параметры, необходимые для прогноза неуставновившейся фильтрации. Для этого, вычислив предварительно отношение t/t_1 , по графику $l/(Z+h_K) = f(t/t_1)$, изображенному на рис. 34, находят величину $l/(Z+h_K)$, по которой определяется значение капиллярного давления h_K (для этого надо знать глубину просачивания воды l), или при известном h_K определяется l .

Значение недостатка насыщения μ определяется в данном случае как отношение общего объема воды V , поступившей в породы из внутреннего кольца от момента начала опыта, к объему увлажненных ею горных пород ωl , т. е.

$$\mu = \frac{V}{\omega l}, \quad (IV.48)$$

где ω — площадь сечения внутреннего кольца.

Принципиально аналогичный способ, но несколько более трудоемкий в обработке результатов опыта, выполняемого по способу Н. С. Нестерова, предложен Н. Н. Веригиным (14).

Оригинальная методика обработки результатов опытной инфильтрации воды из шурфов (при постоянном напоре в инфильтрометре), основанная на графоаналитическом представлении уравнения одномерной неустановившейся инфильтрации, изложена в работе (15). Там же описан способ графоаналитической обработки экспресс-наливов в шурфы с использованием наблюдений за интенсивностью свободного понижения уровня воды в инфильтрометре при мгновенных доживах и за объемами воды, расходуемыми на инфильтрацию. Определяемые в результате обработки опытов значения коэффициента фильтрации корректируются введением поправочных коэффициентов на влияние защемленного воздуха (для этого требуется изучение профиля распределения влажности под инфильтрометром) и бокового растекания (поправка на основе точного решения Н. К. Гиринского).

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.

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_g и вертикальном K_v направлениях устанавливается степень их анизотропии $\lambda^2 = K_v/K_g$, 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 $K_g = K_v/\lambda^2$ или среднее значение коэффициента фильтрации анизотропных пород — $K_{ср} = \sqrt{K_g \cdot K_v} = K_v/\lambda$.

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, расходометрия, 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 (1). 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, учитываящая несовершенство опытной скважины по степени и характеру вскрытия пласта:

$$K = \frac{0,366Q \left(\lg \frac{1,47l}{\varepsilon r_0} + \zeta_f \right)}{l S_p}, \quad (\text{IV.49})$$

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 (в зависимости от типа фильтра и пород изменяется от 1,5 до 6,5).

При бурении глубоких скважин в устойчивых породах целесообразно пласти и горизонты опробовать с помощью специальных опробователей и пластоиспытателей, опускаемых в скважины на бурильных трубах или кабеле (см. гл. III, § 2).

Экспресс-откачки и экспресс-наливы. Эти экспресс-методы определения параметров, основанные на использовании наблюдений за изменением уровня воды в скважине в результате кратковременного водоотбора 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 исключимых 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.

Детальное изложение методики обработки данных экспресс-методов приведено в специальных работах (1, 13, 15, 21).

Экспресс-налив (откачка) в совершиющую скважину. Обработка результатов таких опытов возможна по методике Б. С. Шержурова и Н. И. Гамаюнова. С помощью серии эталонных кривых определяются последовательно водоотдача и коэффициент фильтрации опробуемых пород (1, 14, 15). Менее трудоемка оценка водопроводимости на основе приближенной зависимости, определяющей изменение уровня на конечных стадиях опытов:

$$S_t = \frac{V}{4\pi T t}, \quad (IV.50)$$

где S_t — повышение или понижение уровня через время t после опыта; $V = \omega \cdot S_0$ — объем воды, прилитой (или отобранный) 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.50), представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом $B = V/4\pi T$. Следовательно, по величине B может быть определена водопроводимость $T = V/4\pi B$. В принципе по любой точке прямолинейной части графика $S_t = f(1/t)$ водопроводимость может быть определена по формуле

$$T = \frac{V}{4\pi S_t t} = 0,08 \frac{V}{S_t t}. \quad (IV.51)$$

Экспресс-налив (откачка) в несовершенную скважину. В условиях квазистабилизации фильтрации и при отсутствии влияния границ потока для анализа результатов экспресс-наливов (откачек) в несовершенные скважины рекомендуется использовать зависимость (15):

$$\ln \frac{S_0}{S_t} = \frac{K l_p}{\omega} t, \quad (IV.52)$$

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 :

$$l_p = \frac{2,73l_0}{\lg \left(\frac{0,7l_0}{r_c} \right)}, \quad (\text{IV.53})$$

а для скважины, работающей только дном, $l_0 = 10 r_c$.

Из уравнения (IV.52) следует, что график зависимости $\ln(S_0/S_t) = f(t)$ представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом $B = Kl_p/\omega$ (рис. 35), чем и можно воспользоваться при определении коэффициента фильтрации. Сняв с прямолинейной

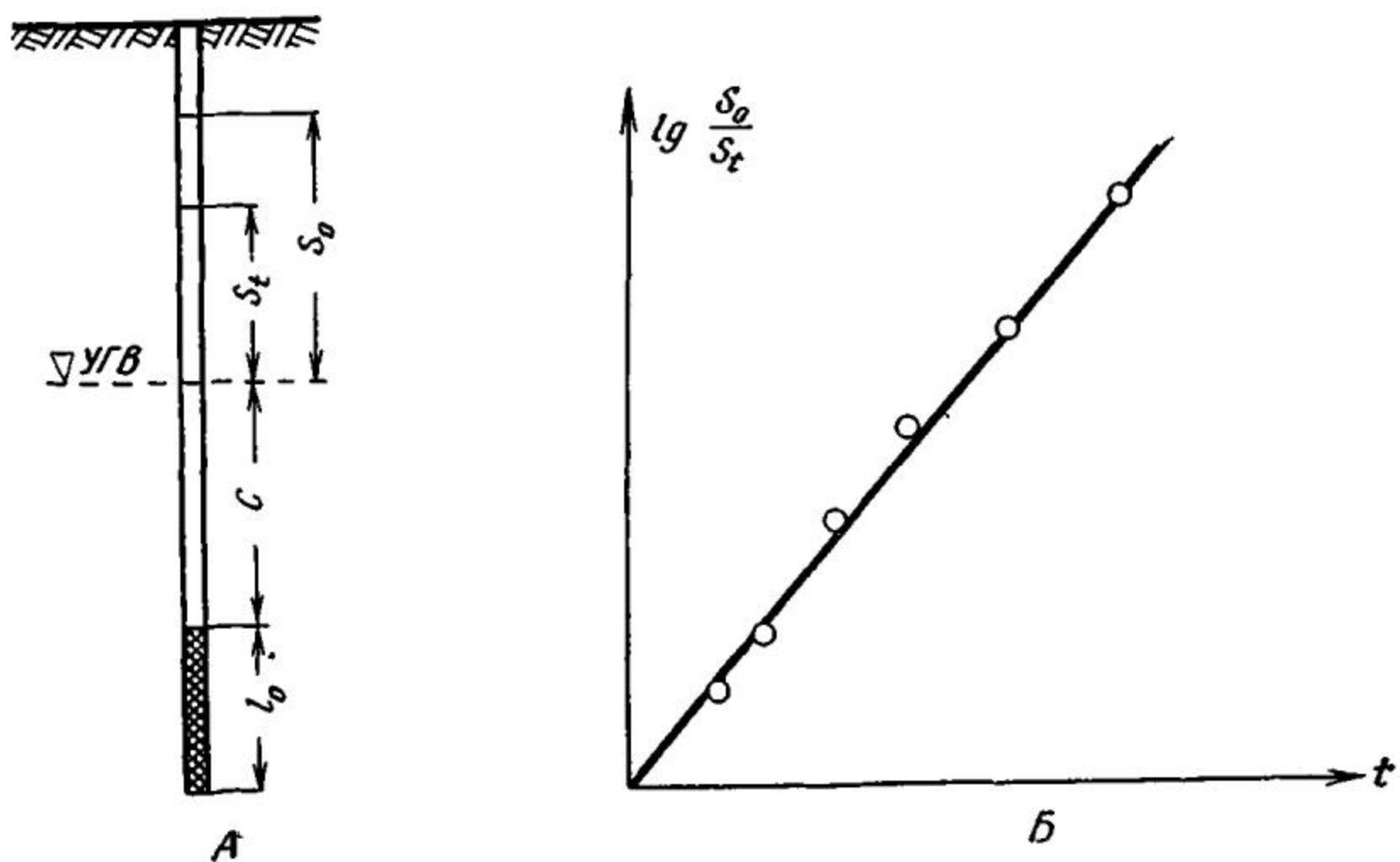


Рис. 35. Экспресс-налив в несовершенную скважину: *A* — схема опыта; *Б* — график

$$\lg \left(\frac{S_0}{S_t} \right) = f(t)$$

части графика $\lg(S_0/S_t) = f(t)$ величину углового коэффициента B или координаты любой ее точки $\lg(S_0/S_t)$ и t коэффициент фильтрации определим по формулам

$$K = 2,3 \left(\frac{B\omega}{l_p} \right) \text{ или } K = 2,3 \left(\frac{\omega}{l_0 t} \right) \lg \left(\frac{S_0}{S_t} \right). \quad (\text{IV.54})$$

При проведении опытов рекомендуется заглублять фильтр опытной скважины под уровень воды не менее чем на полторы его длины, т. е. $C \geq 1,5 l_0$ (рис. 35).

При проведении экспресс-откачек из незакрепленных фильтрами скважин для определения коэффициента фильтрации можно пользоваться формулами К. Я. Кожанова и Л. Эрнста (14).

В отдельных случаях экспресс-опробование глубоких скважин осуществляется способом подкачки газа, заключающимся в повышении давления в предварительно загерметизированной скважине и последующей фиксации кривой восстановления сниженного таким образом уровня подземных вод (1). Для обработки опытных данных используется любой из методов обработки кривых восстановления уровня с учетом притока воды в скважину (5, 6, 15).

Расходометрия скважин. Суть метода заключается в определении и анализе профиля расхода потока по стволу скважины при

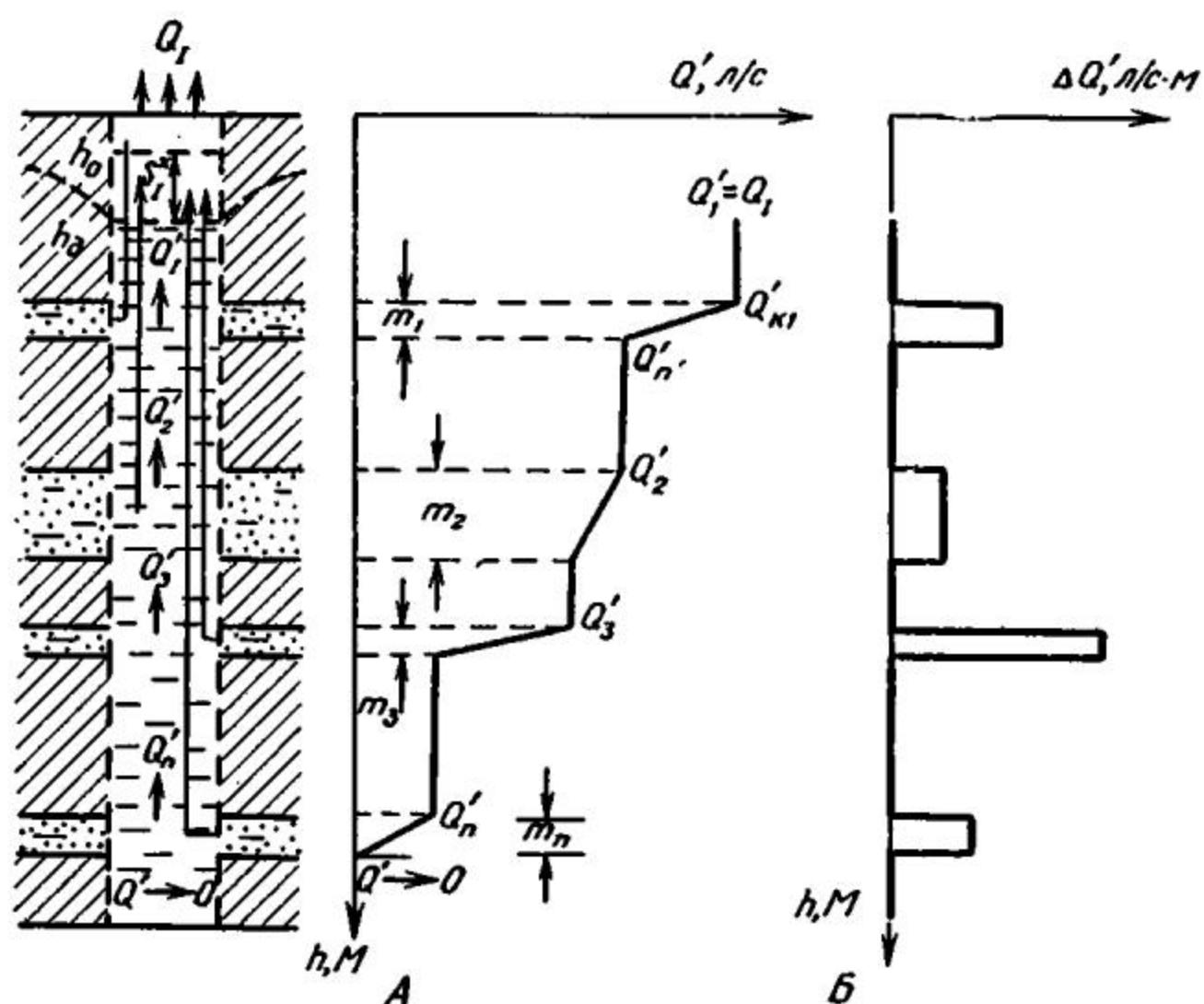


Рис. 36. Схема расходометрического исследования скважины при откачке: А — расходограмма $Q' = f(h)$; Б — дифференциальная расходограмма $\Delta Q' = f(h)$; h_0 — установившийся общий уровень воды в скважине; h_d — динамический уровень воды в скважине при откачке

наливе, откачке или в естественных условиях. Ее применение эффективно и целесообразно в незаглущенных 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. 36). Анализ графиков расхода воды по стволу скважины $Q' = f(h)$ позволяет определять глубину залегания, мощность и гидродинамические параметры (водопроницаемость, напоры и др.) проницаемых пород. Границы пластов различной водопроницаемости устанавливаются по точкам перелома расходометрического графика (рис. 36, А). Расход воды в интервале проницаемого пласта находится по разности расходов потока в его кровле и подошве ($Q_i = Q'_{i, \text{к}} - Q'_{i, \text{п}}$). 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.

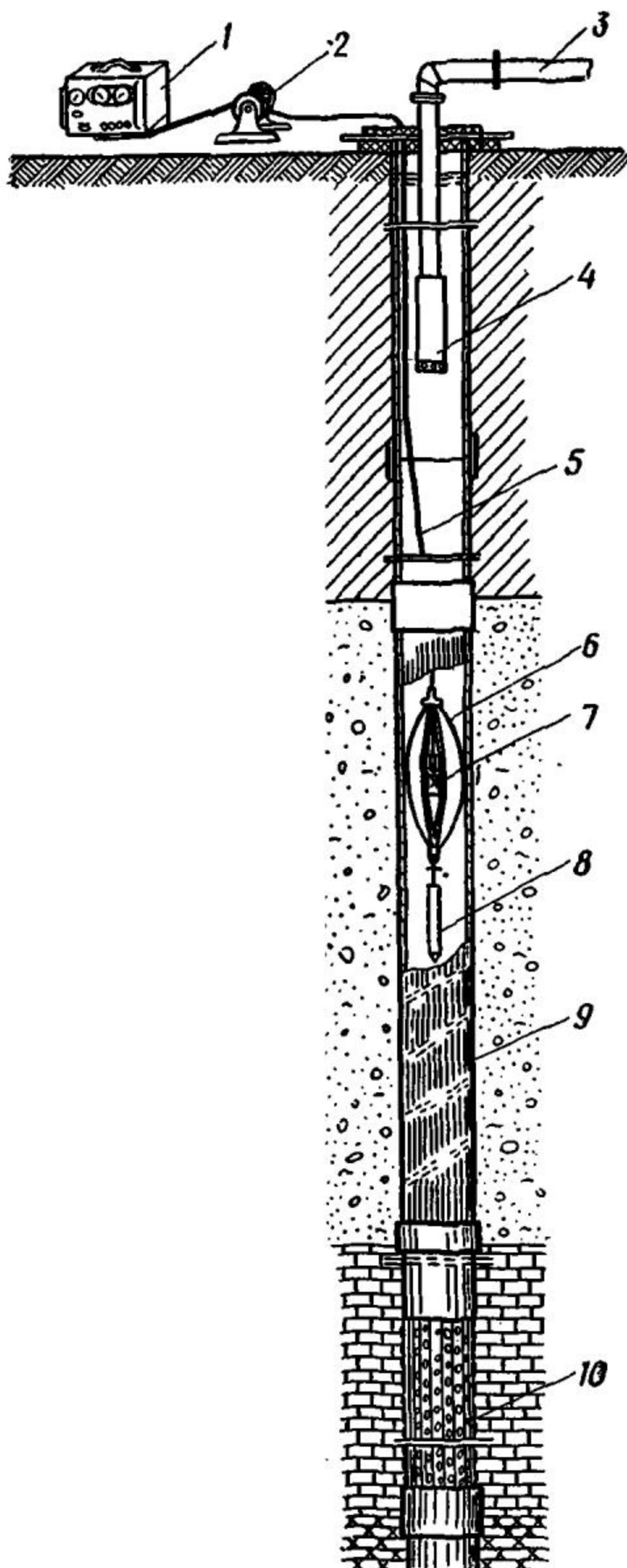


Рис. 37. Схема установки расходомера в скважине:

1 — пульт; 2 — лебедка; 3 — водоподъемные трубы; 4 — насос; 5 — кабель; 6 — центральный фонарь; 7 — вертушка, 8 — груз; 9, 10 — фильтры

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 специальной литературе (1, 6, 7, 15).

Расходометрия 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. 37 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 из-

мерений, 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 (8).

По результатам расходометрии 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 выделяются интервалы наиболее проницаемых пластов и определяется приходящийся 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 водопроводимости (определяется любым другим методом) оцениваются параметры каждого из пластов.

Необходимо отметить, что применять описанные в настоящем параграфе экспресс-методы следует в комплексе с основными видами опытно-фильтрационных работ и с геофизическими методами исследований. Так, весьма эффективным оказывается сочетание опробования пластов специальными пластоиспытателями и опробователями с геофизическими методами исследований и расходометрией, которое позволяет получать достаточно достоверную информацию о водообильности и фильтрационных свойствах пород в процессе поисково-съемочных работ при существенном сокращении объемов дорогостоящих откаек.

§ 6. Определение направления и скорости движения подземных вод

Для решения многих теоретических и практических задач, связанных с выявлением условий и закономерностей формирования и разрушения месторождений полезных ископаемых (в том числе и подземных вод), миграции в воде различных химических и биологических компонентов, с прогнозами изменения 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.

Определение направления движения подземных вод. 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 известным или установленным отметкам уровня подземных вод путем интерполяции составляется план изолиний свободной или пьезометрической поверхности и определяется направление движения потока по линиям токов (рис. 38).

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.

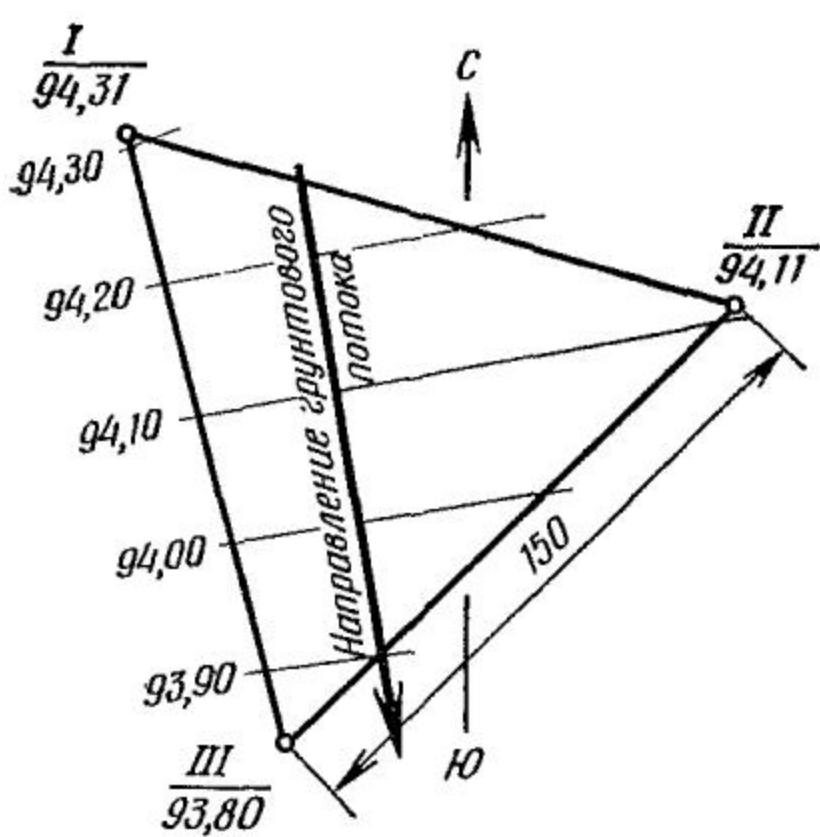


Рис. 38. Схема расположения скважин для определения направления движения грунтовых вод

Геофизические методы определения направления движения подземных вод. Они весьма детально изложены в специальных руководствах (13, 20). Наиболее перспективными из них являются 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 гирокомического 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 следующим соотношением:

$$v_d = \frac{v}{n_a}, \quad (IV.55)$$

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_z (т. е. $n_a = n_0 - n_c - n_z$).

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 (5, 15).

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 (IV.55).

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 испытуемый 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 (флюоресцент, метиленовая синька, родамин-*B*, уранин, эритрозин и др.), электролиты (поваренная соль,

хлористый аммоний, 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, расходометрии, 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_{\max} исчисляется с момента его запуска в пусковую скважину до момента максимальной концентрации индикатора в наблюдательной скважине (рис. 39). Действительная скорость движения подземных вод v_d определяется как частное от деления пройденного индикатором расстояния l на время: $v_d = l/t_{\max}$ (6, 21).

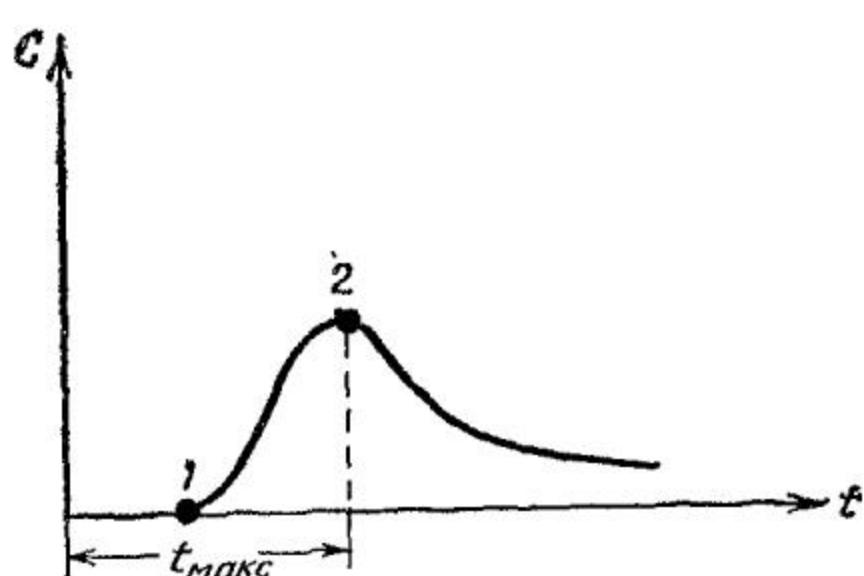


Рис. 39 Изменение концентрации индикатора C в наблюдательной скважине во времени t

1 — точка появления индикатора в наблюдательной скважине, 2 — точка максимальной концентрации индикатора

на 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_{\max} исчисляется с момента его запуска в пусковую скважину до момента максимальной концентрации индикатора в наблюдательной скважине (рис. 39). Действительная скорость движения подземных вод v_d определяется как частное от деления пройденного индикатором расстояния l на время: $v_d = l/t_{\max}$ (6, 21).

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 наблюдавшегося показателя (силы тока или концентрации красителя) во времени, аналогичные изображенному на рис. 39.

Радиоиндикаторные методы. В последние годы все более широкое применение для определения направления и скорости движения подземных вод, а также для решения многих других практических задач приобретают радиоиндикаторные методы. В качестве индикаторов для мечения воды используются различные радиоизотоны. Контроль за перемещением изотопов ведется по замерам интенсивности излучения и определения их концентрации (21).

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. (21).

Радиоиндикаторные методы применяются в различных вариантах и модификациях (односекважинные и с наблюдательными скважинами, одноиндикаторные и двухиндикаторные и др.).

Суть односекважинного 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 дейстгигельной скорости фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. С., Рохлин Л. Я., Тесля А. Г. Экспресс-опробование гидрогеологических скважин. Обзор. Сер. «Гидрогеология и инженерная геология». М., ВИЭМС, 1972, 50 с.
2. Бабушкин В. Д., Плотников Н. И., Чуйко В. М. Методы изучения фильтрационных свойств неодиородных пород. М., «Недра», 1974, 208 с.
3. Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970, 215 с.
4. Боревский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., «Недра», 1973, 304 с.
5. Бочевер Ф. М., Гармонов И. В., Лебедев А. В., Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1969, 368 с.
6. Васильевский В. Н., Петров А. И. Исследование нефтяных пластов и скважин. М., «Недра», 1973, 344 с.
7. Гринбаум И. И. Расходометрия гидрогеологических и инженерно-геологических скважин. М., «Недра», 1975, 271 с.
8. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. М., «Недра», 1971, 244 с.
9. Инструкция и методические указания по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом опытных откачек из скважин И-38—67. М., «Энергия», 1967, 184 с.
10. Инструкция и методические указания по определению водопроницаемости горных пород методом опытных нагнетаний в скважины И-39—67. М., «Энергия», 1968, 95 с.
11. Керкис Е. Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. М.—Л., «Недра», 1975, 231 с.
12. Климентов П. П., Кононов В. М. Динамика подземных вод. М., «Высшая школа», 1973, 440 с.
13. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. Вып. 1—3. М., Изд-во Гипроводхоза, 1972, 130 с.
14. Определение водопроницаемости неводоносных горных пород опытными наливами в шурфы И-41—68. М., «Энергия», 1969, 62 с.
15. Опытно-фильтрационные работы. Под ред. В. М. Шестакова и Д. Н. Башкатова. М., «Недра», 1974, 202 с.
16. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения (метод. пособие). Коллектив авторов. М., «Недра», 1969, 328 с.
17. Плотников Н. И. Поиски и разведка пресных подземных вод для целей крупного водоснабжения. М., Изд-во МГУ, 1968, 420 с.
18. Самсонов Б. Г., Бурдакова О. Л., Кривошеева Л. И. Рекомендации по обработке результатов опытных работ на основе уравнений неустановившегося движения. М., Изд-во Второго гидрогеол. управл., 1969, 104 с.
19. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. М.—Л., «Недра», 1967, 360 с.
20. Чураев Н. В., Ильин Н. И. Радиоиндикаторные методы исследования движения подземных вод. М., Атомиздат, 1973, 176 с.
21. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1973, 327 с.

ГЛАВА V

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА И БАЛАНСА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучению режима и баланса подземных вод отводится весьма 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 выполнения 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 их (включая уровни, расходы, скорости, температуру, химический, газовый и бактериологический составы), отражающие процесс формирования подземных вод. 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, гидрогеологических, биолого-почвенных, космогенных и др.), *нарушенным* (создается главным образом под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека) и *смешанным*, формирующимся под влиянием комплексного воздействия природных и искусственных факторов.

На большей части территории СССР имеют место естественный и смешанный 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* (специальные), направленные на изучение особенностей режима подземных вод, образующегося под влиянием местных факторов (литологических особенностей пород, гидрологического режима рек и водоемов, 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 водобалансовых 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).

Под *балансом подземных вод* понимается соотношение между *их поступлением* (приходящая часть) и *расходованием* (расходная часть) в количественном выражении (мм или $\text{м}^3/\text{га}$) на той или иной площади за определенный период.

Режим и баланс подземных вод тесно взаимосвязаны. 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 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 (инфилтратии, испарения, подземного стока) и дает возможность выполнять более обоснованно водобалансовые расчеты.

Задачи изучения режима и баланса подземных вод чрезвычайно многообразны. Так, изучение естественного режима подземных вод осуществляется в целях обеспечения решения следующих задач: 1) выявления условий формирования подземных вод (оцен-

ка 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 балансов 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) оценки фильтрационных свойств и граничных условий водоносных горизонтов и комплексов.

Прогнозы естественного режима используются при планировании и осуществлении различных видов строительства (гражданского, промышленного, транспортного, гидроэнергетического, мелиоративного и др.), водоснабжения, сельскохозяйственного производства и решении других народнохозяйственных задач (1—4, 9—11).

Изучение смешанного и нарушенного режимов подземных вод, их прогнозы и анализ проводятся при решении следующих практических задач: 1) при разведке месторождений подземных вод, оценке их запасов, составлении прогнозов их режима при эксплуатации и обосновании мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения и загрязнения; 2) при 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) при обосновании оросительных, обводнительных и осушительных мелиораций и методов управления режимом подземных вод в районах их проведения; 4) при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений и прогнозах возможных изменений гидрогеологических, гидрохимических, 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.

В будущем роль и значение исследований режима и баланса подземных вод будут непрерывно возрастать, и они окажутся основными источниками гидрогеологической информации, необходимой для решения разнообразных народнохозяйственных задач.

§ 2. Методы изучения режима подземных вод

Анализ многолетних наблюдений за режимом подземных вод свидетельствует о том, что под влиянием режимообразующих факторов (гидрометеорологических, космогенных, биогенных, эндогенных и искусственных) 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 уровня и качества подземных вод. Изучение этих изменений и выявление их связей с режимообразующими факторами и природными условиями является 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, сою определяющими, 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 изменениями основных элементов режима (уровней, расходов, температуры, химического и бактериологического составов) по специально оборудованной сети наблюдательных пунктов (скважин, источников, шурfov, колодцев). Наиболее предпочтительны для наблюдений за режимом подземных вод скважины и источники. В районах нарушенного режима для наблюдений используются водозaborные и дренажные сооружения, горные выработки и т. п. При неглубоком залегании подземных вод (до 10 м) применяются забивные фильтры (только для наблюдений за их уровнем).

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, ремонта и т. д.). Эти требования находят отражение

в специфике сооружения и оборудования наблюдательных пунктов (2, 5, 6, 11).

Вопросы проходки и изоляции водоносных горизонтов, конструктивных особенностей и оборудования наблюдательных скважин рассмотрены в гл. III (см. § 1, 2).

Некоторой спецификой отличается оборудование скважин режимной сети в многолетнемерзлых породах. Она обусловлена возможностью образования ледяных пробок. Одним из эффективных приемов их устранения является заливка верхней части наблюдательных скважин дизельным топливом (рис. 40). Замеры уровня воды осуществляются через колонну замерных трубок 9, обычно закрытую герметической крышкой 10 и погруженную в скважину. Для проведения замеров колонну поднимают до устья (нижний ее конец должен всегда оставаться под уровнем воды) и открывают крышку 10. После замеров закрытую колонну снова опускают на забой. Практикуется также прогревание скважин, разбуривание пробок и другие приемы ликвидации ледяных пробок.

В связи с большим значением региональных и локальных исследований режима подземных вод в нашей стране действует Государственная опорная сеть гидрологических наблюдательных пунктов, включающая около 100 режимных станций и свыше 25 тыс. наблюдательных пунктов. В ближайшем будущем количество наблюдательных пунктов будет доведено до 35—40 тыс. Это 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

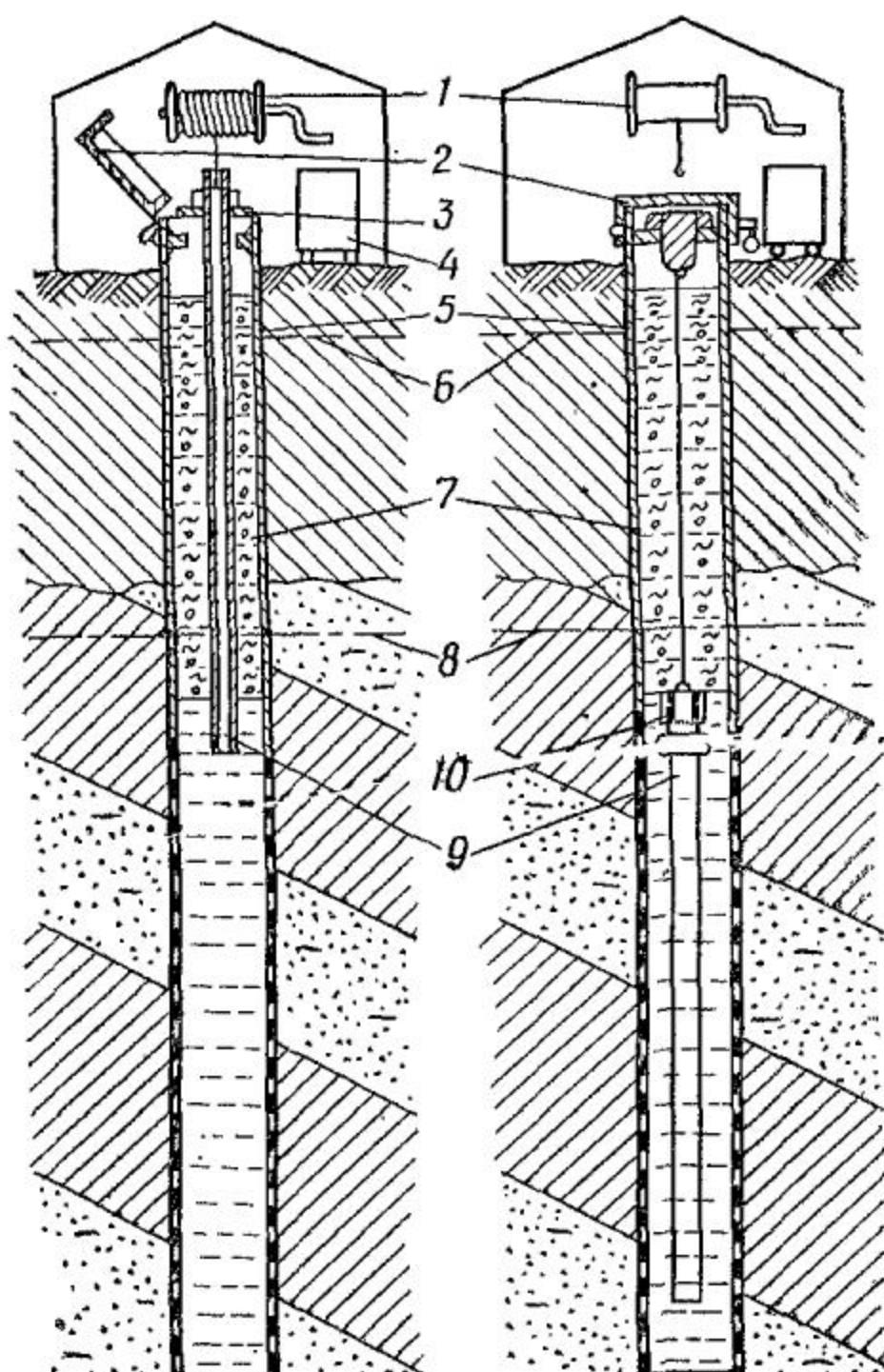


Рис. 40. Схема оборудования замерзающих скважин для наблюдений за режимом подземных вод

1 — лебедка, 2 — крышка на устье обсадных труб, 3 — подкладная вилка, 4 — бачок для дизельного топлива, 5 — обсадные трубы, 6 — статический уровень подземных вод, 7 — столб залитого в скважину дизельного топлива, 8 — нижняя граница многолетнемерзлых пород, 9 — колонна замерных трубок, 10 — герметическая крышка колонны замерной трубы

специально выделенных типовых (репрезентативных) бассейнов (4, 5, 11).

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 карттирования. Детальное изложение этих вопросов дано в работах М. Е. Альтовского, Г. Н. Каменского, А. А. Коноплянцева, Д. М. Каца, В. С. Ковалевского, А. В. Лебедева, С. М. Семенова и других исследователей (1—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 первые от поверхности 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 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 особенностям геолого-гидро-геологических условий — районы, по геоморфологическим условиям — участки, по мощности зоны аэрации — площади), и тем

самым определяется направленность исследований по изучению режима и баланса подземных вод (11).

Наблюдательная сеть размещается в пределах каждого из гидрогеологических районов (основная единица районирования) в виде створов, ориентированных от водоразделов к дренам таким образом, чтобы наблюдениями были охвачены все характерные для данного района комплексы водовмещающих пород и геоморфологические элементы (рис. 41). Створ скважин следует располагать в направлении максимального изменения гидрогеологических показателей. В сложных по геоморфологическим и литологическим условиям районах наблюдательная сеть сгущается (скважины располагаются на типовых участках, передко вне створов).

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 три 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 (11).

В районах, где грунтовые воды подпитываются напорными водами, целесообразно оборудование пьезометров, опущенных на различную глубину. В засушливых районах при наличии гидрохимической зональности грунтовых вод по вертикали также необходимо закладывать кусты скважин на различную глубину. Глубины установки фильтров выбираются с учетом особенностей состава водосодержащих пород, литологии и изменения минерализации грунтовых вод с глубиной, выясняемых в процессе предварительных разведочных работ.

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 взаимоувязаны. Изучению подвергаются лишь основные по значимости водоносные комплексы и горизонты. Особенности артезианских бассейнов платформенного типа и артезианских бассейнов горноскладчатых областей предопределяют некоторую специфику размещения наблюдательных сетей при изучении режима подземных вод.

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 областях 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 (11). При изучении в пределах бассейна нескольких

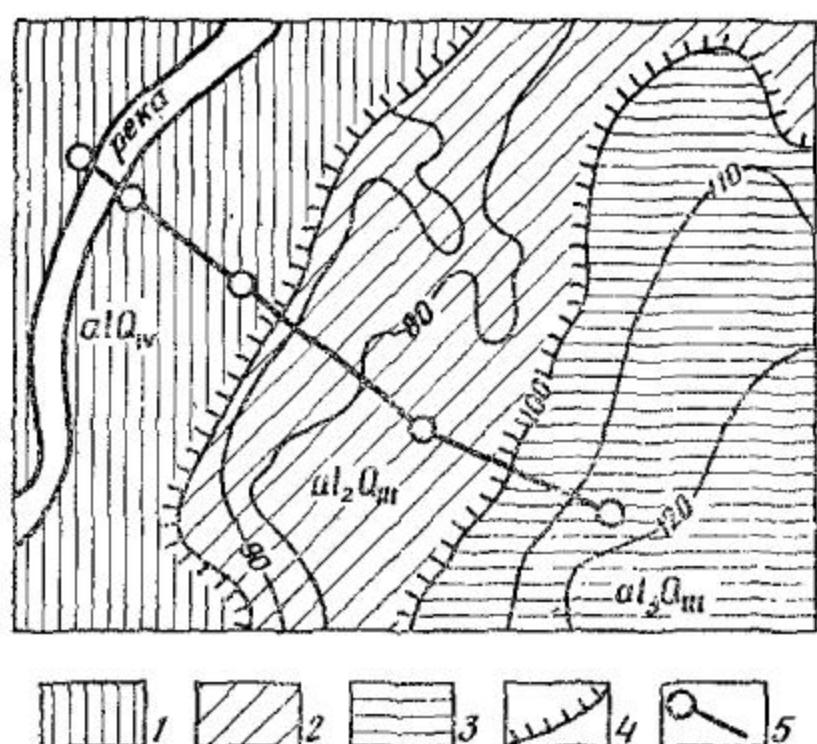


Рис. 41. Схема расположения наблюдательных скважин в гидрогеологическом районе:

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

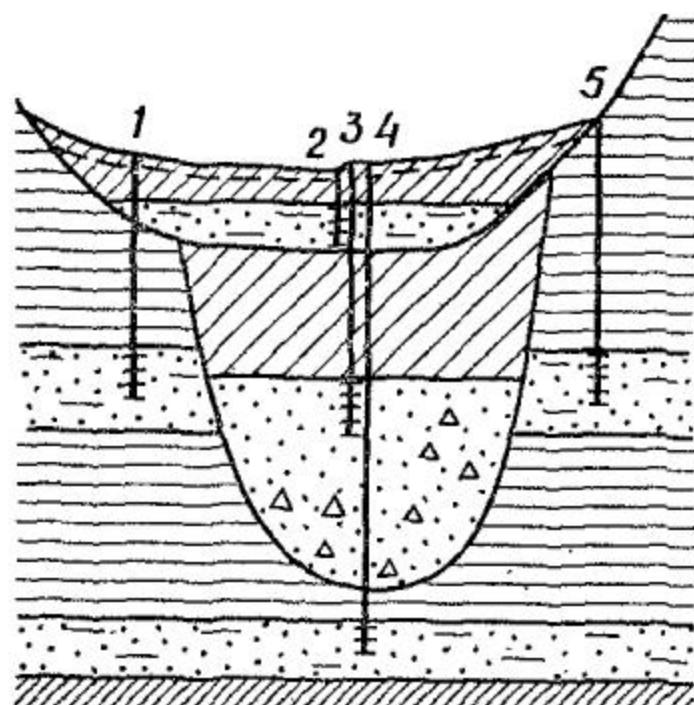


Рис. 42. Размещение наблюдательных скважин (1—5) в переуглубленной долине

водоносных горизонтов или их взаимосвязи скважины располагаются «кустами» с ярусно расположенными фильтрами в пределах изучаемых горизонтов (рис. 42).

В районах переуглубленных речных долин необходимо закладывать скважины на аллювий современной и переуглубленной долин, в пределах высоких террас и водоразделов, а также на расположенный ниже горизонт минерализованных вод (рис. 42). 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 влия-

ния 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. 43). Поперечные створы следует размещать в верхней, средней и нижней частях долины, охватывая 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.

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. 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—3, 6—11). В среднем наблюдения за естественным режимом подземных вод проводятся 10 раз в месяц. В периоды интенсивного воздействия режимообразующих 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 тщательного анализа полученных данных по режиму эта сеть может быть несколько сокращена. 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

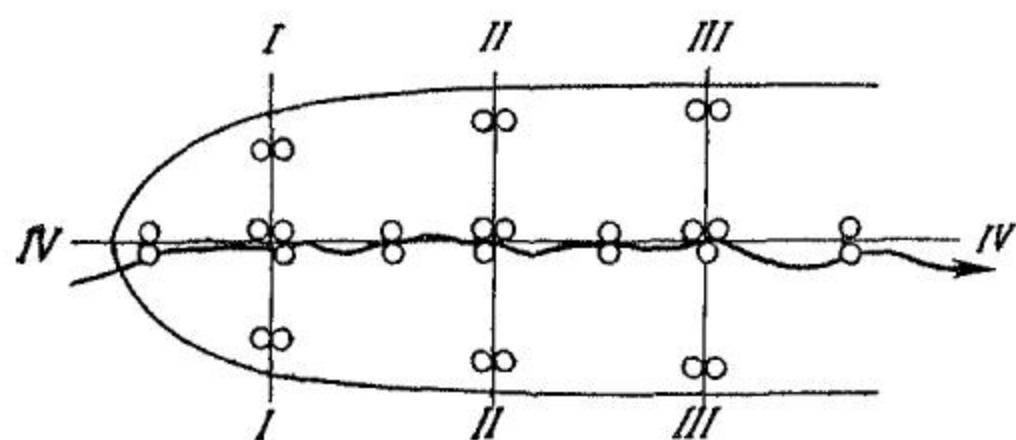


Рис. 43. Схема размещения кустов и поперечников наблюдательных скважин в межгорном артезианском бассейне; I—IV номера створов

грунтовых вод проводится также и в районах, где природный режим на больших площадях нарушен искусственными факторами, а влияние последних приобретает региональный характер.

Детально принципы размещения наблюдательной сети и методика изучения естественного и нарушенного режима подземных вод изложены в специальных методических руководствах (1, 2, 5—8, 10, 11).

Особенности изучения нарушенного режима подземных вод. Изучение нарушенного режима подземных вод имеет исключительно 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 режимообразующих факторов, целевого назначения и задач планируемых исследований (2, 6—11). 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 конкретном 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 наблюдателями задач (6—8, 11). Она должна обеспечивать также изучение и естественного режима подземных вод как фона, на котором формируется нарушенный их 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 законо-

мерностей режима подземных вод наблюдения достаточно проводить 5—10 раз в месяц и реже. На участках гидразлической 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. Частота измерений определяется целевым назначением наблюдений. При общих исследованиях режима температура измеряется 1—3 раза в месяц (в неглубоких скважинах до 10 раз в месяц), при специальных термометрических исследованиях шаг и частота замеров детализируются.

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. Частота отбора проб для анализов зависит от цели исследований, но всегда увеличивается при активизации действия факторов, изменяющих состав вод (паводки, пойливые 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.

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 упругоемкости, водопроводимости, уровне- и пьезопроводности, 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 вос-

полнения 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 выше задач возможно 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 природных 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 (2, 9—11).

Обычно наблюдательные пункты располагают по двум взаимно пересекающимся створам, проходящим через центр водозабора. На каждом из створов задается не менее 3—5 скважин (двух-трех в пределах воронки депрессии, одной-двух — за ее пределами). Створы ориентируют нормально к границам водопосного пласта. На рис. 44 приведены схемы размещения наблюдательных пунктов на водозаборах, расположенных вдали от границ пласта и вблизи реки. Наблюдательный створ, ориентированный к реке (не менее трех 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, 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.

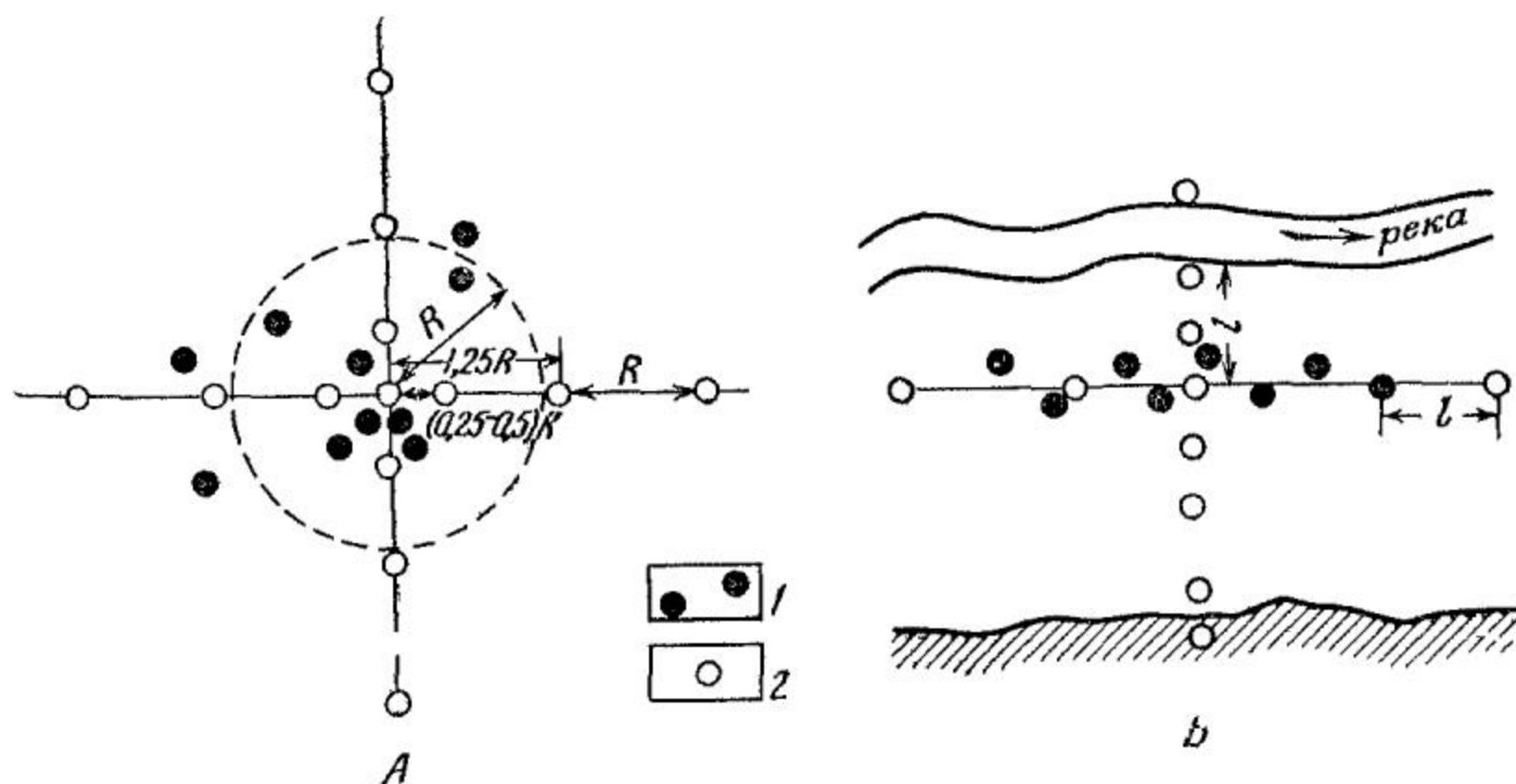


Рис. 44. Схемы размещения наблюдательной сети на действующих водозаборах: А — в удалении от границ, Б — в долине реки:

1 — эксплуатационные скважины, 2 — наблюдательные скважины; R — радиус «большого» колодца

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 важно 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 (рис. 45). 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

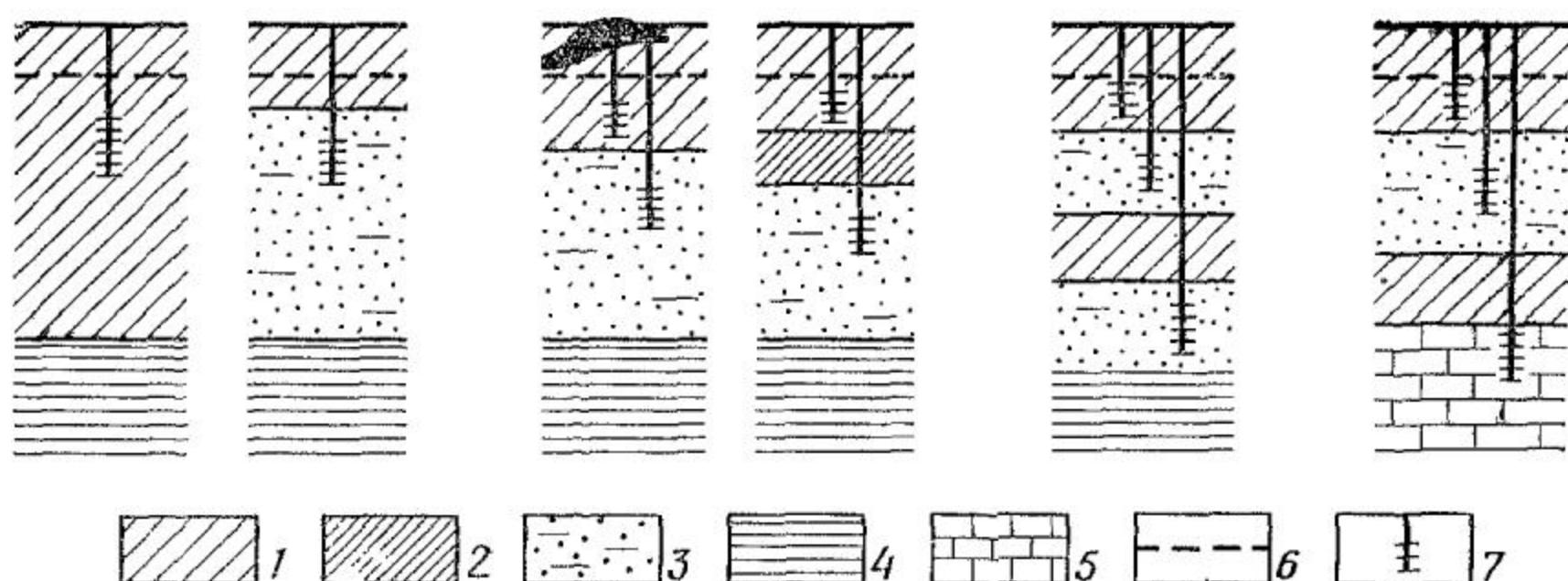


Рис. 45 Типовые разрезы и схемы размещения наблюдательных скважин в районах орошения:

1 — суглиники, супеси; 2 — суглиники, глины, 3 — пески, 4 — водоупор; 5 — хорошо водопроницаемый слой; 6 — уровень грунтовых вод, 7 — скважина с фильтром

поливные и осушительные участки. К чисту 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 водобалансовым 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 режимообразующим 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 режимообразующих факторов (до 10 и более раз в месяц).

Более глубокое и дифференцированное рассмотрение задач и методики изучения режима и баланса подземных вод в районах разработки месторождений полезных ископаемых содержится в специальных работах (6, 8, 11).

Районы промышленного и гражданского строительства. Изучение и прогноз режима грунтовых (а иногда и напорных) вод являются при проектировании инженерного строительства обязательными в силу определяющего их влияния на инженерно-геологические условия и экономическую эффективность строительства. Наблюдения за режимом подземных вод начинаются еще в процессе изысканий под строительство (естественный режим) и продолжаются 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 освоенной территории и условий ее дальнейшего использования (3, 5, 6, 11).

§ 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 соору-

жений 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 решений других практических и теоретических задач (1, 5—7, 10).

В гидрогеологической практике для изучения водного баланса широко применяются две группы методов: 1) гидродинамического анализа режима подземных вод (с использованием аналитических и конечно-разностных решений дифференциальных уравнений) и 2) экспериментальные (воднобалансовый и лизиметрический).

Метод гидродинамического анализа режима подземных вод. Он основан на применении теории неустановившегося движения грунтовых вод к расчету основных элементов их баланса и 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 — интенсивность инфильтрационного питания горизонта за счет атмосферных осадков и орошения; $W_{\text{гл}}$ — глубинное перетекание воды в грунтовый поток из залегающего в его подошве напорного горизонта.

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 водопроводности, уровнепроводности, коэффициент фильтрации различных 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 вод-

ного баланса и анализу баланса в годовом разрезе детально рассматриваются в курсе «Динамика подземных вод» и в специальных руководствах (5, 7, 10).

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.

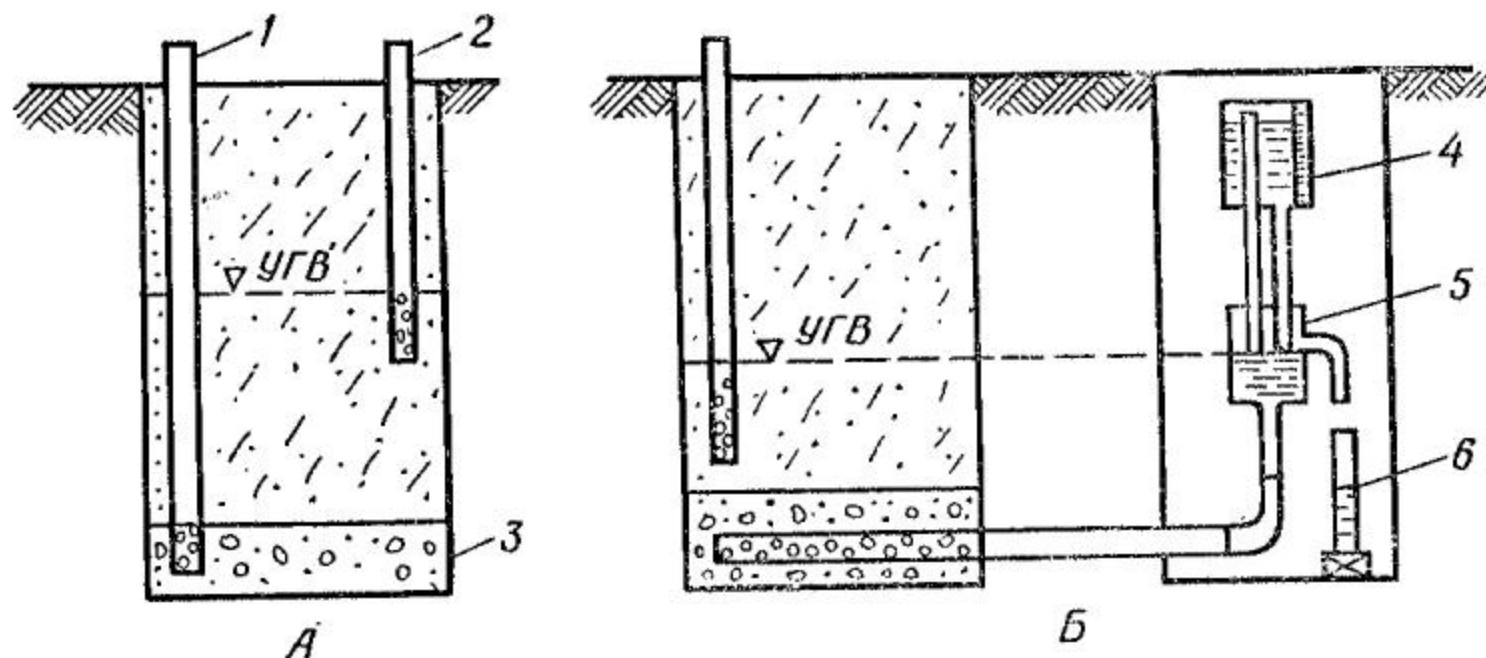


Рис. 46 Схема устройства лизиметров; А — лизиметр с ненарушенным монолитом (с постоянным уровнем грунтовых вод); Б — то же, с непрерывным регулированием уровня грунтовых вод:

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

Экспериментальные методы. Определение элементов водного баланса по этим методам осуществляется экспериментально на типичных по гидрогеологическим условиям балансовых участках. Это дает возможность последующего переноса получаемых данных на всю изучаемую или аналогичную по гидрогеологическим условиям территорию. При водобалансовом 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 (5).

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. 46, А).

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 поддерживаемые на высоте естественного уровня, позволяют определять величину притока и оттока подземных вод (рис. 46, Б).

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 весьма 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 величины 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 водобалансовых 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 (2, 5—10).

§ 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, 3, 4—6) 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 уста-

навливаются 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). Экстремные прогнозы выдаются с целью предупреждения о возможных опасных проявлениях изменения режима подземных вод, остальные используются для планирования водохозяйственных мероприятий (3, 4).

Методы прогнозов. Для прогнозов режима подземных вод применяются следующие группы методов: 1) гидродинамические; 2) вероятностно-статистические; 3) на основе гармонического анализа рядов наблюдений; 4) балансовые; 5) гидрогеологической аналогии.

Гидродинамические методы основаны на использовании соответствующих формул динамики подземных вод и **обычно** применяются в условиях, когда режим предопределен действием одного-двух факторов. В эту группу входят методы, основанные на использовании уравнений Буссинеска — Майс, 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, 4, 9—10).

Вероятностно-статистические методы и методы гармонического анализа рядов наблюдений 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 на основе корреляционного или гармонического анализа прогностические связи позволяют прогнозировать элементы режима подземных вод с указанием достоверности их прогноза.

Балансовые методы прогноза основаны на использовании соответствующих уравнений водного баланса и прогнозе поведения уровня или других элементов режима в зависимости от соотноше-

ния 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. Условно они подразделяются на синтетические, аналитические и комплексные (3, 4).

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. Коноплящева и С. М. Семенова (3, 4).

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 (4). При прогнозах уровней используются генетические зависимости прогнозных уровней от предшествующих метеорологических условий и уровней, законо-

мерности 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_h . Коэффициенты относительного положения характеризуют величину отклонения уровня от среднемноголетних 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

$$\lambda_h = \frac{h_{\max} - h_p}{h_{\max} - h_{\min}}, \quad (V.3)$$

в соответствии с которой расчетная глубина до уровня грунтовых вод h_p (в метрах от поверхности земли) определяется выражением

$$h_p = h_{\max} - \lambda_h (h_{\max} - h_{\min}) = h_{\max} - \lambda_h A = h_{\min} + \lambda_h A. \quad (V.4)$$

В формулах (V.3) и (V.4) h_{\max} и h_{\min} — максимальная и минимальная глубины уровня грунтовых вод за весь период наблюдений (иногда вместо h_{\max} и h_{\min} принимают глубины 1- 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.

Карта распределения прогнозных уровней дает 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 воз-

можно 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 уровне- 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 (1, 7, 9, 10).

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.

«Полевые опытно-фильтрационные работы» (водозаборные и дренажные сооружения обычно рассматриваются при этом как большие колодцы).

Гидрогеологические параметры по данным об изменении уровня в прибрежных зонах водотоков (при их наполнении или сработке) определяются с использованием соответствующих решений, описывающих закономерности их поведения под влиянием возмущающих факторов. Так, если в наблюдательных скважинах 1 и 2 створа, расположенного вдоль линейного в плане потока, за время t отмечены изменения уровня ΔH_1 и ΔH_2 (рис. 47) и скорость изменения уровня в граничном пьезометре (скв. 1) была постоянной, используется решение $\Delta H(x, t) = \Delta H_0 R(\lambda)$, которое характеризует изменение уровня в полуограниченном однородном потоке. Принимая изменение уровня в граничном пьезометре равным $\Delta H_0 = \Delta H_1$, а в наблюдательном (скв. 2) $\Delta H(x, t) = \Delta H_2$, получаем соотношение

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = R(\lambda), \quad (V.5)$$

где $R(\lambda)$ — специальная функция, определяемая из специальных таблиц по значению аргумента $\lambda^2 = x^2/4at$.

При определенном по величине $R(\lambda)$ значении аргумента λ (находится из таблиц) можно рассчитать величину коэффициента уровнепроводности (пьезопроводности) по формуле $a = x^2/4\lambda^2t$.

Оценку сопротивления ложа водных границ (рек, водохранилищ, каналов, дрен) целесообразнее выполнять по данным наблюдений за стационарным режимом подземных вод (при $W=0$) по створу скважин, заложенных на основной водоносный горизонт по нормали к урезу водоема (рис. 48). Значение обобщенного показателя ΔL определяется из условия постоянства расхода потока на участке створа наблюдательных скважин по формуле (обозначения см. на рис. 48):

$$\Delta L = \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_1} (l_2 - l_1). \quad (V.6)$$

Величину инфильтрационного питания W или параметр W/K можно определить по данным о положении уровня в трех наблюдательных скважинах (например, в скв. 1, 2 и 3 при условии $W=const$, рис. 48) из выражения

$$\frac{W}{K} = \frac{h_2^2 - h_1^2}{(l_{1-3} - l_{1-2}) l_{1-2}} + \frac{h_1^2 - h_3^2}{(l_{1-3} - l_{1-2}) l_{1-3}}. \quad (V.7)$$

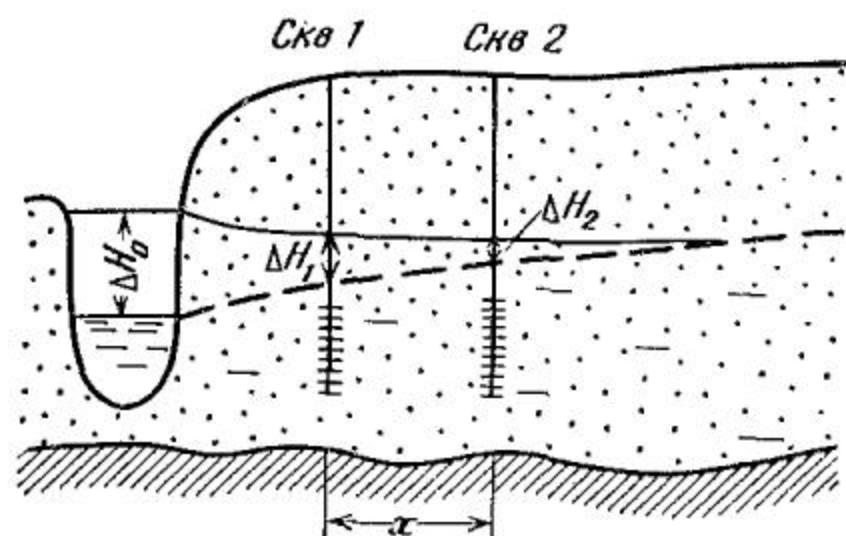


Рис. 47. Схема к определению коэффициента уровнепроводности по стационарным наблюдениям

Приемы определения других гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод изложены в специальной литературе (1, 7, 9—10).

В последние годы для определения некоторых гидрогеологических параметров, в частности упругой водоотдачи пласта и коэффициентов упругоемкости и льзопроводности напорных водоносных горизонтов и комплексов, используются данные стационарных наблюдений за изменением уровня подземных вод под влиянием изменения атмосферного давления (10).

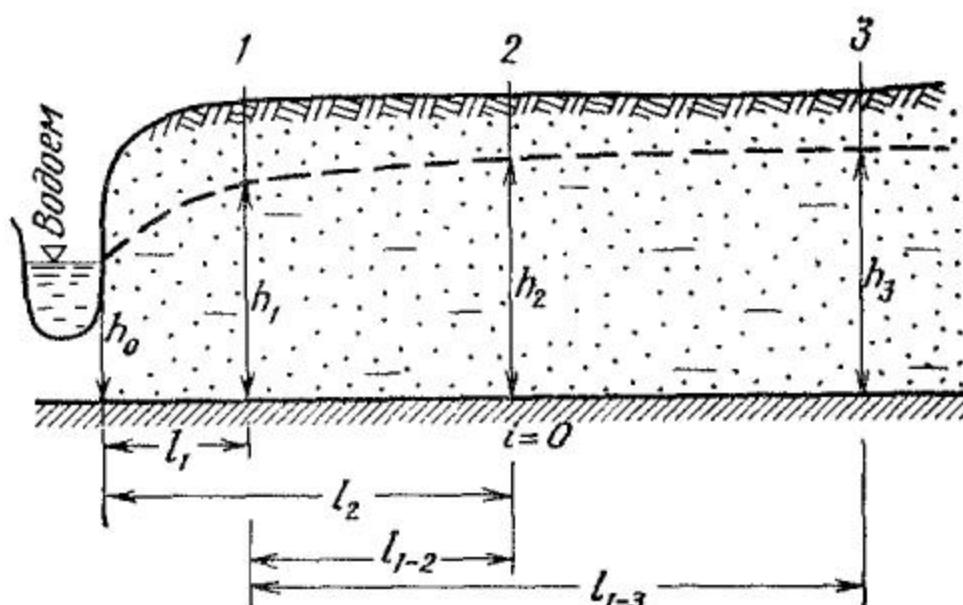


Рис. 48 Схема к определению параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод

ных наблюдений повышает эффективность выполнимых гидрогеологических исследований и способствует более обоснованному и правильному решению многих практических и теоретических задач гидрогеологии.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Каменский Г. Н., Гавич И. К., Мясникова Н. А., Семенова С. М. Гидрогеологические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов. Тр. ЛГГП, т. XXVI. М., Изд-во АН СССР, 1960
- 2 Ковалевский В. С. Методическое руководство по изучению режима подземных вод в районах водозаборов. М., Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1968, 197 с.
- 3 Ковалевский В. С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. М., «Недра», 1973, 152 с.
- 4 Коноплянцев А. А., Семенов С. М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М., «Недра», 1974, 214 с.
- 5 Лебедев А. В. Методы изучения баланса грунтовых вод. Изд. 2-е. М., «Недра», 1976, 223 с.
- 6 Методическое руководство по изучению режима подземных вод. Под ред. М. Е. Альтовского и А. А. Коноплянцева. М., Госгеолтехиздат, 1954, 196 с.
- 7 Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. Вып. 2. М., Изд-во Союзводпроекта, 1972, 200 с.
- 8 Пересунько Д. И. Изучение режима шахтных (рудничных) и подземных вод на месторождениях твердых полезных ископаемых. Методические указания. М., «Недра», 1968, 80 с.
- 9 Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., «Недра», 1973, 293 с.
- 10 Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред. Н. Н. Биндермана. М., «Недра», 1969, 328 с.
- 11 Принципы размещения сети гидрогеологических наблюдательных пунктов в естественных и нарушенных условиях (методические рекомендации). М., «Недра», 1974, 87 с.

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 гидрохимических 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. 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 взаимодействия 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

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».

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 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 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 тесно 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 являются важнейшими показателями, определяющими фильтрационные свойства горных пород. Количественно пористость n характеризуется отношением объема пор V_p к объему пористого образца V (коэффициент пористости $n = V_p/V$) 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, 4, 9).

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, 9, 10).

Расчетным путем коэффициент пористости определяется по формулам:

$$n = \frac{\Delta - \gamma_c}{\Delta} \text{ или } n = \frac{\Delta(1 + W_e) - \gamma}{\Delta(1 + W_e)}, \quad (\text{VI.1})$$

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 (3, 9, 10).

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 (3, 5, 9, 10).

Методы лабораторного определения влажности (по разности массы влажных и высушенных пород), влагосмкости (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, 10). 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, 6, 9, 10). Величина максимальной молекулярной влагоемкости W_{\max} (а для глинистых разностей полевой влагоемкости W_u) 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 осущеной 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 (3, 7, 9, 10).

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_{\max} (для глинистых пород полевой влагоемкостью W_n). Для песчаных пород ориентировочно величину водоотдачи можно определять как разность между пористостью n и максимальной молекулярной влагоемкостью W_{\max} (при этом не учитывается наличие защемленного воздуха).

Применяется также лабораторный способ определения водоотдачи. На специальном приборе (рис. 49) измеряется объем воды, свободно вытекающей из насыщенного образца пород, и по соотношению объемов воды и пород определяется водоотдача.

При известном значении коэффициента фильтрации песчаных пород K размер водоотдачи может быть приближенно определен по эмпирической формуле П. А. Бецинского: $\mu = 0,117 \sqrt{K}$, где K принимается в м/сут (7).

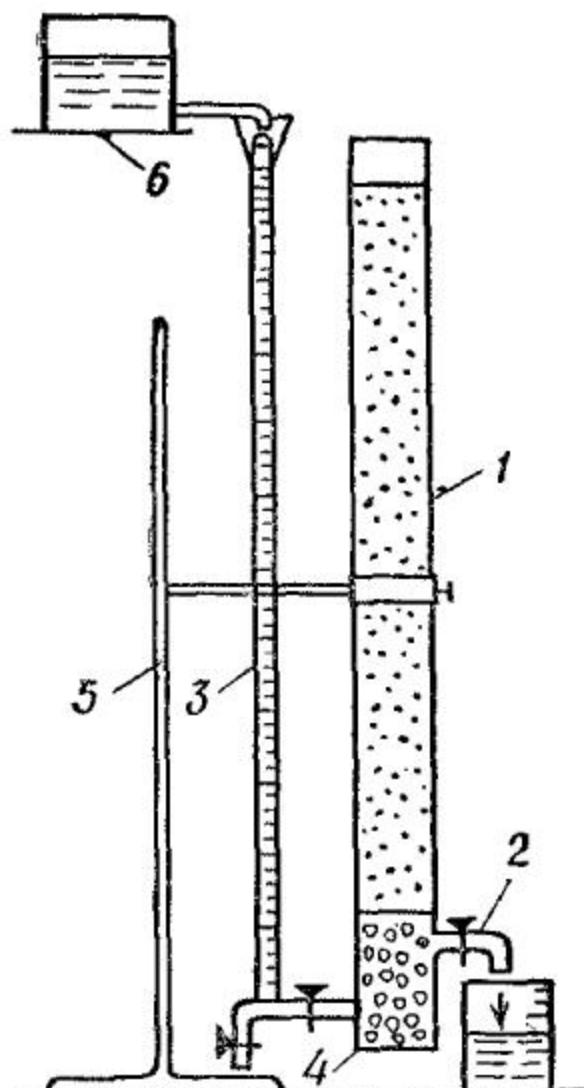
Аналогичным водоотдаче показателем, характеризующим способность горных пород принимать воду при их насыщении, является недостаток насыщения, который в лабораторных условиях определяется по разности между полной влагоемкостью (или пористостью) и естественной влажностью

Рис. 49. 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

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 (3, 4, 9). Коэффициент фильтрации, зависящий от геометрии порового пространства и свойств фильтрующейся 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

$$K = K_{\text{п}} \left(\frac{\gamma}{\eta} \right) = K_{\text{п}} \left(\frac{\rho g}{\eta} \right) = K_{\text{п}} \left(\frac{g}{v} \right), \quad (\text{VI.3})$$

где η и v — коэффициенты динамической и кинематической вязкости фильтрующейся жидкости; γ и ρ — объемная масса и плотность фильтрующейся жидкости; g — ускорение силы тяжести.

Для практических расчетов при измерениях K в м/сут, $K_{\text{п}}$ в дарси, γ в г/см³, η — в сантипуазах можно использовать соотношения

$$K = 0,864 K_{\text{п}} \left(\frac{\gamma}{\eta} \right) \text{ или } K_{\text{п}} = 1,16 K \left(\frac{\eta}{\gamma} \right). \quad (\text{VI.4})$$

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, Слихтера, Крюгера, Замарина, Козени, Терцаги, Цункера, Зауербрея 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 (прибор Тима, трубка Каменского, Спецгео, КФЗ, приборы конструкции Каменского, Маслова, МГРИ, Гидропроекта и др.). С помощью их определяется коэффициент фильтрации связных и рыхлых горных пород. Коэффициент проницаемости определяется с помощью приборов типа УИПК-1, где в качестве фильтрующего реагента обычно используются керосин, газ или вода (4, 5, 9).

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 зна-

чительной 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 натурных. 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 (4, 5, 7, 9).

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 весьма 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 температуры.

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 стабилометров, 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 — $\beta_p = (0,3 \div 2,0) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$.

При известных значениях K , β_v , β_p и пористости n величину коэффициента пьезопроводности определяют по формуле

$$a^* = \frac{K_n}{\gamma(n\beta_v + \beta_p)} = \frac{K}{\gamma(n\beta_v + \beta_p)} = \frac{K}{\gamma\beta^*} = \frac{T}{\mu^*}, \quad (\text{VI.5})$$

где $\beta^* = n\beta_v + \beta_p$ — коэффициент упругомкости пласта; μ^* — упругая водоотдача, характеризующая способность напорного пласта отдавать воду в условиях упругого режима.

Для безнапорных водоносных горизонтов по аналогии с (VI.5) коэффициент уровнепроводности a определяется по значению водопроводимости T и гравитационной водоотдачи μ :

$$a = \frac{T}{\mu} = \frac{Kh_{cp}}{\mu}, \quad (\text{VI.6})$$

где $n_{ср}$ — средняя мощность изучаемого водоносного горизонта. Наиболее надежные значения коэффициентов пьезо- и уровнепроводности 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 решением других задач и гидрохимических 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 водопоявлений (мочажин, источников, скважин, колодцев, шурfov, ручьев и др.) в процессе съемочных работ, при пробных 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 и электропроводность 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 общезвестными методами (1, 2, 6, 8, 9). 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°С.

Сжимаемость воды, характеризуемая коэффициентом упругого сжатия β_v , определяется в специальных приборах типа стабилометров. Необходимость в ее определении возникает при оценке упругоемкости пласта и коэффициента пьезопроводности расчетным методом.

Необходимость в определении *вязкости воды*, характеризуемой коэффициентами динамической η и кинематической вязкости v , возникает при изучении вод глубоких структурных горизонтов, имеющих переменный состав (плотность и вязкость). Определяется вязкость в специальных приборах — вискозиметрах позволяющих осуществлять измерения в условиях, близких к пластовым. Ориентировочно вязкость определяется по специальным графикам и программам в зависимости от температуры воды и количества растворенных в ней солей (4, 9).

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 (8). В связи с этим при анализе химического состава подземных вод обычно выделяют *макрокомпоненты*, встречающиеся в природных водах в относительно повышенных концентрациях, и *микрокомпоненты*, содержание которых в воде обычно незначительно. Макрокомпоненты обусловливают 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 определяются 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^-), кремнекислота, Fe

и Al, присутствующие в отдельных типах вод и относящиеся к локальным микрокомпонентам (1, 2, 6, 9, 11). Микрокомпоненты (кроме некоторых токсических) определяются при полных химических анализах воды и при специальных гидрогохимических исследованиях.

К числу важнейших показателей, определяющих состояние и многие свойства воды, относится 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. Оксилительно-восстановительный потенциал Eh определяется при специальных гидрогохимических исследованиях (предпочтительнее непосредственно у объекта опробования) для выявления условий миграции отдельных микрокомпонентов (4, 8, 9, 11).

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, галоидопоглощениес, содержание нафтеновых кислот, фенолов, токсических элементов и некоторые другие, которые необходимы при оценке качества воды для народнохозяйственного использования в различных отраслях (1, 2, 4, 6, 8, 9, 11).

Типы химических анализов воды при гидрогохологических исследованиях. Для изучения физических свойств, химического и газового состава подземных вод в процессе гидрогохологических исследований выполняются полевые, сокращенные, полные и специальные анализы.

Первые три типа 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).

Сокращенный анализ выполняется более точными методами в стационарных лабораториях. 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 определе-

ний 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 , $Ar+Kr+Xe$, $He+Ne$, 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 (3, 6, 8, 9).

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 — коли-титром). Согласно ГОСТ 2874—73 общее количество бактерий в воде хозяйственно-питьевого назначения не должно превышать 100 в 1 мл неразбавленной воды, коли-индекс не более трех и коли-титр — не менее 300. При несоответствии санитарного качества воды указанным требованиям она подлежит обеззараживанию (1,9).

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 (9).

§ 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 их отбора 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 провести оценку и учет 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, транспортировки и хранения. Такого рода правила установлены для всех основных видов химических анализов и определений и отражены в соответствующих руководствах (1, 2, 4, 6, 8, 9).

Определенная специфика отбора проб воды соблюдается при опробовании минеральных, промышленных и термальных подземных вод, при опробовании источников и скважин, при отборе проб газа, газирующих вод и специфических видах опробования (бактериологический, радиохимический, изотопный и другие виды анализов).

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 анализ, 1—2 л на полный и специальные), недопустимость смешения вод различных водоносных горизонтов, соответствующая консервация и регистрация проб и т. п. Отбор, хранение и транспортировка проб воды на бактериологический анализ осуществляются по ГОСТ 5215—50. 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 желонок, приборов (прибор Симонова, водонос ВСЕГИНГО и др.), специальных пробоотборников (ППБ, ПГ, ПРИЗ-II, ПД-3, телескопического пробоотборника Симонова и др.).

Пробы газа отбираются с помощью газоотводных трубок, воронок, газоотделителей и пробоотборников специальных конструкций (ППБ, ПГ, ПРИЗ, ПД-3 и др.). Детальное описание методов и приборов для отбора проб воды и газа дается в специальной литературе (1, 2, 4, 8, 9).

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. Оценка качества подземных вод, предполагаемых для народнохозяйственного использования, осу-

ществляется 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, 4, 9).

При оценке подземных вод как источников хозяйственно-питьевого водоснабжения руководствуются требованиями ГОСТ 2761—74 «Источники централизованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения». При подаче воды потребителю она должна отвечать требованиям, установленным ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая» (введен в действие с 1 января 1975 г.). Ввиду того что подземные воды используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения большей частью без очистки и обезвреживания, следует стремиться к тому, чтобы природное их качество, установленное в результате лабораторного опробования, удовлетворяло требованиям ГОСТ 2874—73.

В соответствии с этим ГОСТом к физическим свойствам воды предъявляются следующие требования: запах (при 20°C и при подогревании до 60°C) не более 2 баллов, привкус при 20°C не более 2 баллов, цветность по шкале не более 20°, мутность по стандартной шкале не более 1,5 мг/л, запахи и привкус при хлорировании не более 1 балла. К химическому составу установлены следующие требования: сухой остаток не более 1000 мг/л (в виде исключения до 1500 мг/л), pH в пределах 6,5—8,5, общая жесткость не более 7 мг·экв/л (в виде исключения до 10 мг·экв/л). Содержание обнаруживаемых в воде токсических элементов в мг/л должно быть не более следующих значений: бериллий (Be^{2+}) — 0,002, молибден (Mo^{2+}) — 0,5, мышьяк (As^{3+} , As^{5+}) — 0,05, нитраты (по N) — 10,0, полиакриламид — 2,0, свинец (Pb^{2+}) — 0,1, селен (Se^{6+}) — 0,001, стронций (Sr^{2+}) — 2,0, фтор (F^-) — 0,7÷1,5, уран природный (U) и ^{238}U — 1,7. Предельное содержание радиоактивных изотопов радия — 226 (^{226}Ra) и стронция — 90 (^{90}Sr) в Ки/л (Кюри/л) соответственно должно быть не более $1,2 \cdot 10^{-10}$ и $4 \cdot 10^{-10}$.

Содержание веществ, влияющих на органолептические свойства воды, лимитируется следующими показателями (в мг/л): хлориды — 350, сульфаты — 500, железо (Fe^{2+} , Fe^{3+}) — 0,3, марганец (Mn^{2+}) — 0,1, медь (Cu^{2+}) — 1,0, цинк (Zn^{2+}) — 5,0, остаточный алюминий (Al^{3+}) — 0,5, гексаметаfosfat (PO_4) — 3,5, триполифосфат (PO_4) — 3,5.

Требования к качеству минеральных и промышленных подземных вод изложены в специальных руководствах (2, 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вода питьевая. ГОСТ 2874—73. М., Стандартгиз, 1974, 8 с.
2. Воды минеральные, питьевые, лечебные и лечебно-столовые. ГОСТ 13273—73. М., Стандартгиз, 1975, 33 с.
3. Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии. М., «Высшая школа», 1964, 251 с.
4. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. М., «Недра», 1971, 244 с.
5. Калинко М. К. Методика исследования коллекторских свойств кернов. М., Гостоптехиздат, 1963, 224 с.
6. Методические указания по гидрогеологической съемке на закрытых территориях в масштабах 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 50 000. М., «Недра», 1968, 176 с.
7. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики. М., «Недра», 1974, 296 с.
8. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Анализ природных вод. Изд. 3-е. М., «Недра», 1970, 488 с.
9. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 1 и 2. М., «Недра», 1967, 592 и 360 с.
10. Чаповский Е. Г. Лабораторные методы по грунтоведению и механике грунтов. Изд. 4-е. М., «Недра», 1975, 304 с.
11. Швец В. М. Органические вещества подземных вод. М., «Недра», 1973, 192 с.

ГЛАВА VII

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» (1, 6—9, 13, 14). В настоящее время моделирование получает все большее признание и практическое применение при решении самых разнообразных гидрогеологических задач, в том числе и как новый, весьма 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 специальных работах (1—7, 9—12).

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 гидрохимических 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 геологогидрогеологических особенностей объекта, внесения корректиров в объемы, виды, направленность и методику проведения гидрогеологических исследований. При этом изучение особенностей и проявленний гидрогеологического объекта осуществляется на определенным образом построенной и соответствующей ему модели, степень обоснованности и достоверности которой может оцениваться и повышаться в процессе моделирования.

Для постройки 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.

От степени соответствия построенной фильтрационной модели реальной фильтрационной схеме объекта и учета всех факторов, определяющих условия движения подземных вод, зависит однозначность, надежность и эффективность решения любой гидрогеологической задачи. Использование моделирования в гидрогеологических исследованиях имеет большое практическое 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. В процессе исследований, выполняемых при моделировании (вариантность схем, оценка степени и характера влияния различных факторов, решение комплекса обратных задач и др.), осуществляется дальнейшее более глубокое изучение объекта и его природной фильтрационной схемы (7—9).

Общий процесс решения гидрогеологических задач методом моделирования складывается из следующих последовательно выполняемых этапов:

1. Анализ природных условий и исходных материалов, их схематизация и составление природной гидрогеологической схемы области фильтрации с количественной оценкой принятых допущений и обоснованием необходимости учета тех или иных факторов.
2. Обоснование и составление фильтрационной модели.
3. Обоснование точности и достоверности построенной модели и факторов прогноза (с помощью решения комплекса обратных задач, фрагментного моделирования и факторно-диапазонных оценок).
4. Выбор и обоснование способов и методики моделирования, набор задачи на моделирующем устройстве и ее решение.
5. Пересчет полученных результатов с модели на натуру с использованием соответствующих масштабных коэффициентов и обработка полученных результатов.

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 (7), 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 (3—7, 9—12):

1. Изучение современных гидрогеологических условий территории 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.

4. Решение задач оптимизации при обосновании проектирования инженерных сооружений в сложных гидрогеологических условиях.

5. Изучение особенностей и закономерностей развития сложных гидрогеологических явлений и процессов.

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.

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, водоподпиточных установок и водозаборов подземных вод и т. п.) и в зависимости от сложности гидрогеологических условий они могут быть одномерными, двухмерными и значительно реже — пространственными.

Решение *обратных задач* заключается в определении и уточнении фильтрационных характеристик или граничных условий пото-

ков 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 освещения гидрогеологических особенностей изучаемого 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 (3—5, 7—9, 12). 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 характеристики 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.

ии, 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.

Детальное изложение принципов и методики решения частных гидрогеологических задач в различных природных условиях с помощью моделирования, приемы учета и оценки действующих при этом факторов, требования к качеству и количеству исходной информации и другие вопросы решения задач моделированием рассмотриваются в специальной литературе (1—9, 12—14).

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. 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 материалом 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 analogovo-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 analogово-цифровых вычислительных комплексов типа «Сатурн» (5, 9, 12).

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 (3—5, 7—9, 12, 14). 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 графических условий области фильтрации обоснована данными разведочных работ. Ниже приводится ориентировочный перечень необходимых информационных материалов (по И. К. Гавич) для решения задач моделированием на детальных стадиях изучения и геолого-промышленной оценки месторождений подземных вод (3—5, 10).

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, величина 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, уровень- или пьезопроводность, активная пористость).

При наличии достаточного материала расчетные параметры представляются в виде соответствующих карт. Эти карты 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 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 другими данные для прогноза возможного изменения гидрогоеохимической 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 отдельных 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, проведении в необходимых объемах гидрометрических, гидрологических, режимных и других работ.

Накопленный опыт использования моделирования в гидрогоеологических исследованиях свидетельствует о том, что применение моделирования вносит определенные изменения и дополнения в методику их организации и проведения, которые следует учитывать при проектировании разведочных гидрогоеологических работ (1—7, 9, 11—14): 1) применение моделирования планируется, а проект гидрогоеологических 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 гидроизопривез 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 гидрогоеологических 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 гидрогоеологических задач

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аравин В. И. Расчеты и моделирование плановой фильтрации. М., Госэнергоиздат, 1963, 78 с.
- 2 Булдей В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем. Киев, «Наукова думка», 1973, 199 с.
- 3 Гавич И. К. Принципы и методы моделирования при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. М., 1970, 98 с.
- 4 Гавич И. К. Применение моделирования к обработке гидрогеологической информации. М., 1971, 96 с.
- 5 Гавич И. К. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования. М., 1972, 98 с.
- 6 Дружинин Н. И. Изучение региональных потоков подземных вод методом электрогидродинамических аналогий. М., «Недра», 1966, 336 с.
- 7 Жернов И. Е., Шестаков В. М. Моделирование фильтрации подземных вод. М., «Недра», 1971, 226 с.
- 8 Жернов И. Е., Павловец И. Н. Моделирование фильтрационных процессов. Киев, «Вища школа», 1976, 192 с.
- 9 Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М., «Недра», 1976, 407 с.
- 10 Мироненко В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики. М., «Недра», 1974, 296 с.
- 11 Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред. Н. Н. Бинлемана. «Недра», 1969, 328 с.
- 12 Рекомендации по применению современных математических методов к решению гидрогеологических задач при инженерных изысканиях. М., Стройиздат, 1974, 135 с.
- 13 Шестаков В. М. Динамика подземных вод. Изд-во МГУ, 1973, 327 с.
- 14 Шестаков В. М., Кравченко И. П., Пашковский И. С. Практикум по динамике подземных вод. Изд. 2-е Изд-во МГУ, 1975, 270 с.

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, ядернофизических 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-съемочных 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, предопределляемых 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-съемочных 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 результатов, 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, 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, водо-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 (5, 7). На рис. 4 показаны результаты решения гидрогеологической задачи методом ВЭЗ.

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, дочертьеричными породами, перекрытыми чехлом паносов и т. п.; 2) определение глубины залегания и мощности горизонтов различных горных пород, слагающих геологический разрез, в том числе водопроницаемых 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-фильтрационных работ; 4) определения литологических особенностей пород и литологического расчленения разреза песчано-глинистых отложений, особенно в условиях распространения нестрой 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, 11). Глубина 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* (задачи аналогичны решаемым с помощью ВЭЗ и ВП).

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 территории, 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). На рис. 4 приведена карта глубин до уровня грунтовых вод, составленная по данным сейсморазведки.

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 территории 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, 7).

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, кото-

рая относится к исследованию горных выработок (радиоиндикаторные и изотопные методы исследований).

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 обратно 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 «резервуары». Эти исследования проводят также с целью картирования водоносных тектонических нарушений, изучения процессов карстообразования и решения некоторых других вопросов (9).

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.).

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 и термометрического каротажей.

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 водонепроницаемых 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 сте-

пени 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).

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 весьма 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. Легко представить эффективность такого рода комплексирования, если учесть, что только организациями Министерства геологии СССР ежегодно бурится около 12 тыс. гидрогеологических скважин со средней глубиной 160 м.

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 (5, 7, 9—11), 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 сопротивления (КС), естественных потенциалов (ПС), 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

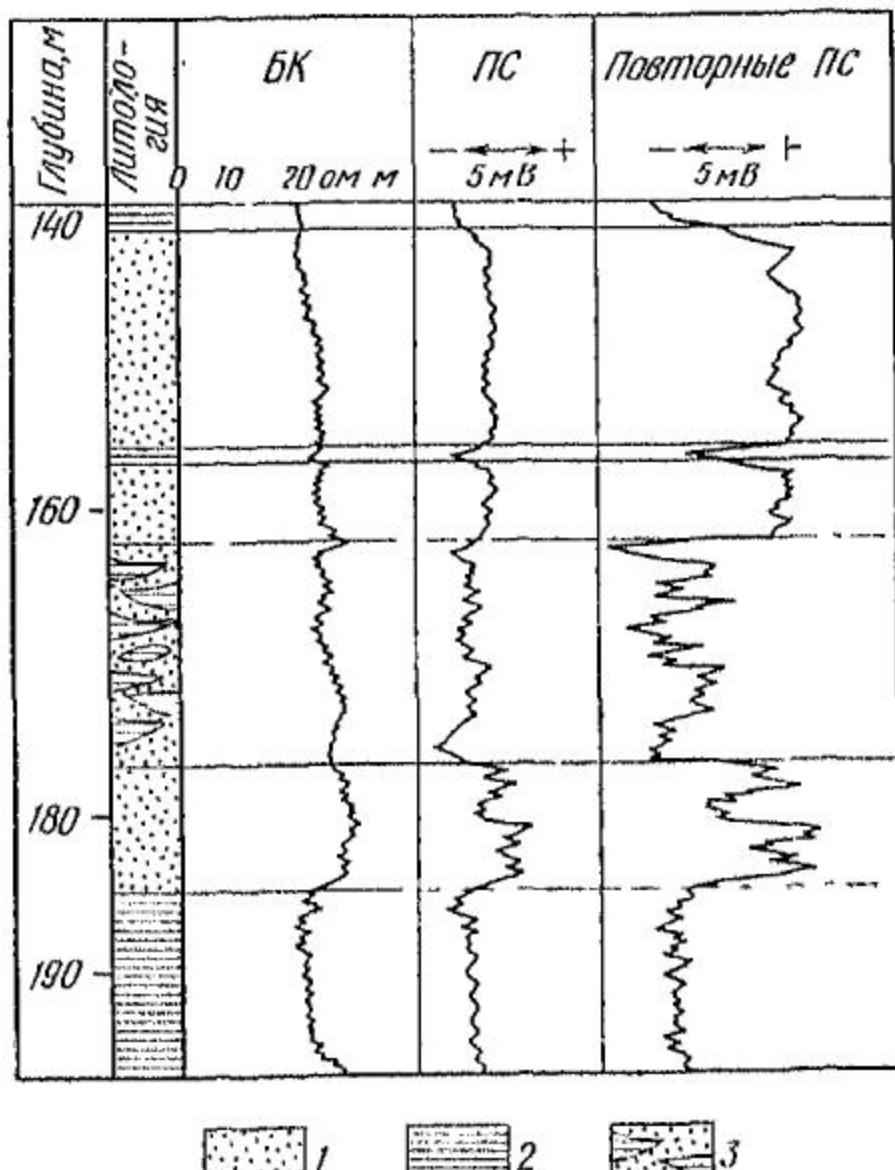


Рис. 50 Выделение водоносных пластов по данным метода повторных ПС.
1 — песок; 2 — глины, 3 — чередование песчаных и глинистых отложений

метод повторного измерения ПС. Для примера на рис. 50 показана схема выделения водоносного пласта в 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 пласти 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 является наиболее сложной задачей. В настоящее время в нефтепромысловой и гидрогеологической практике в той или иной мере опробовано несколько десятков геофизических методов определения емкостных и коллекторских свойств город. 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. Наиболее практическое применение эти способы находят при опробовании скважин, проходящих 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 расходометрии, 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

$$v = \frac{3,62r_c}{a(t_2 - t_1)} \lg \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \right), \quad (\text{VIII.1})$$

где v — средняя скорость фильтрации; a — коэффициент, зависящий от характера стенок скважины и скважности фильтра (обычно $0,5 \leq a \leq 4$, для совершенных чистых скважин $a=2$); 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.

Определяя скорость фильтрации по зависимости (VIII.1) и зная гидравлический уклон потока I , можно определить коэффициент фильтрации $K = v/I$.

При послойном определении коэффициента фильтрации устанавливаются величины поглощения воды каждым слоем q_i при стационарном ее наливе (откачке) в скважину и повышении уровня на

величину S_c и определяются соответственно коэффициенты фильтрации K_i или водонапорности $T_i = K_i m_i$ 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 расходометрию.

Метод расходометрии обладает значительно более широкими возможностями определения фильтрационных свойств и гидростатических напоров водоносных горизонтов, в том числе в условиях их гидравлической взаимосвязи. Обработка данных расходометрии 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. Возможности этого метода рассмотрены в гл. IV настоящего учебника.

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 ощущимые для замеров расходометрией 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 подсоления) 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 выше методы наземных и скважинных геофизических исследований находят широкое практическое применение при проведении гидрогеологических съемочных работ и при раз-

ведке различных типов месторождений подземных вод. Обобщение опыта такого применения и изложение методических основ использования геофизических методов исследований для решения разнообразных задач гидроаэрогеологии и инженерной геологии даются в ценной для специалистов-гидрогеологов работе «Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии», составленной большим коллективом специалистов ВСЕГИИГЕО и производственных организаций (5).

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 гидрогеологической 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 моц-

ностей зоны аэрации или рыхлых отложений, карты литологических особенностей, коэффициентов фильтрации, минерализации подземных вод и т. п. (см. рис. 3, 4 и 50). 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 движение подземных вод в зоне насыщения, определение водо-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 (2,8).

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 и изотопы семейства урана и тория (^{222}Rn , ^{226}Ra и др.).

Основными тяжелыми соединениями стабильных изотопов кислорода и водорода являются HD^{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, 5, 8, 10).

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, искусственно созданные радиоизотопами, дают возможность метить ими водные и другие объекты, прослеживать за их миграцией и, таким образом, использовать искусственные радиоизотоны 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 специальному 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: ^{3}H , ^{131}I , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{24}Na , ^{35}S , ^{82}Br и др. На стадии планирования экспериментов необходимо получить разрешение от органов здравоохранения. В любом случае использование радиоактивных изотопных индикаторов должно быть основано 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 (8, 10). Они могут с успехом использоваться при изучении геометрии порового пространства, процессов влагопереноса в насыщенных и ненасыщенных горных породах (капиллярное, инфильтрационное и фильтрационное движение), физической картины движе-

зия 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-физическем методам исследований относится также группа методов, основанных на применении для изучения водных и других объектов герметизированных радиоактивных источников (8). 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, размещенного в каротажном зонде. К ним относятся гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж, нейtron-нейтронный каротаж и нейтронный гамма-каротаж (см. гл. VIII, § 1). Эти методы оказываются весьма 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 (8). 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 гидрохимической 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 гидрохимических 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 месторождений твердых и жидкых полезных ископаемых и газов; 9) изучение влияния антропогенных процессов (брос 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.

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 существенно выделить гидрогеохимические зоны (по величине минерализации и составу водорастворенных газов). На фоне выделенных гидрогеохимических зон должны быть отмечены все гидрогеохимические аномалии и объяснены причины их проявления. Гидрогеохимические закономерности в плане следует увязать с структурно-tektonическими особенностями района.

Для вод каждой гидрогеохимической зоны необходимо такое число анализов, которое бы позволило достоверно установить характер изменения основных компонентов в ее пределах.

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, углекислота, 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 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 гор-

ных, 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 гидрохимические 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 (4).

Гидрохимический 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 гидрогеологических и гидрохимических исследований.

В связи со сказанным целесообразно затронуть вопрос о месте и роли гидрохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых. Наибольший геолого-поисковый эффект обеспечивается при комплексном проведении различных геохимических методов поисков (литохимического, биохимического, атмохимического) 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, 4).

В соответствии с масштабностью и стадийностью гидрохимические 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 гидрохимические 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 : 25 000 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 (4).

Отбираемые в процессе поисков пробы воды анализируются с целью определения макро- и микрокомпонентов, газового (CO_2 , O_2 , H_2S , N_2 , CH_4 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-рутных, цветных, редкометальных, урановых и других рудных месторождений, а также месторождений нефти, газа, минеральных и промышленных вод. Детально гидрогеохимические методы поисков охарактеризованы в специальной литературе (1, 3, 4).

§ 4. Радиогидрогеологические и другие виды исследований

Как уже отмечалось во второй главе (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) качеств-

венная 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 оруднений, а также радиоактивных вод (с содержанием урана более $5 \cdot 10^{-5}$ г/л, радия более $5 \cdot 10^{-11}$ г/л, радона более 10 эман) 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.). Радиогидрогеологические исследования заключаются в опробовании на радиоактивность и содержание отдельных радиоактивных элементов и их спутников различных естественных и искусственных водопоявлений 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 гидрохимических исследованиях, то следует учитывать специфику отбора проб воды, пород и газа для различного рода радиоактивных определений (2, 6, 8).

Важнейшей составной частью радиогидрогеологических исследований являются поиски урановых оруднений или месторождений так называемым *радиогидрогеологическим методом*, который, как и гидрохимический 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 оруднения (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 гидрохимического метода применительно к выявлению месторождений и оруднений радиоактивных элементов.

Другие методы исследований. На современном этапе развития эффективное решение гидрогеологических задач невозможно без использования основных достижений научно-технического прогрес-

са 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 водоподъемных 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 отжигания и изучения ядерных 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, гидрохимической 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 методик проведения исследований, математическое обслуживание различных прогнозов, оценок и построений и т. п.); 4) применение методов математической статистики и тео-

рии 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; б) 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; б) 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 гидрогеологических 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. Технико-экономические исследования необходимы также при геолого-промышленной оценке месторождений подземных вод, определении их эксплуатационных запасов и обосновании наиболее рациональных вариантов их промышленного 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 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голева Г. А., Крайнов С. Р., Соколов И. Ю. Методические указания по гидрохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1968, 92 с.
2. Горбушина Л. В., Тыминский В. Г. Радиоактивные и стабильные изотопы в геологии и гидрогеологии. М., Атомиздат, 1974, 104 с.
3. Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. Л., «Недра», 1972, 184 с.
4. Методическое руководство по гидрохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1973, 184 с.
5. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. (Методическое руководство.) М., «Недра», 1972, 296 с.
6. Овчинников А. М. Гидрохимия. М., «Недра», 1970, 200 с.
7. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред.: Н. Н. Бицемана. М., «Недра», 1969, 328 с.
8. Справочное руководство по применению ядерных методов в гидрологии. М., «Недра», 1971, 256 с.
9. Фролов Г. М. Гидрогеотермия. М., «Недра», 1968, 316 с.
10. Чураев Н. В., Ильин Н. И. Радиоиндикаторные методы исследования движения подземных вод. М., Атомиздат, 1973, 176 с.
11. Шарапанов Н. Н., Черняк Г. Я. Применение метода вызванной поляризации при гидрогеологических съемках и разведке подземных вод. М., 1972, 76 с.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

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 эффективного 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 (1).

В настоящее время в нашей стране ежегодно потребляется более 300 км³ воды, к 1985 г. потребность в воде возрастет до 450, а к 2000 г. — до 680—750 км³ в год. Доля подземных вод в общем водопотреблении, не превышающая в настоящее время 16—18%, будет неуклонно увеличиваться (2, 19).

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, 13). Доля подземных вод в обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения уже сейчас превышает 50%. В частности, большинство городов с потребностью в воде до 50 тыс. м³/сут и все небольшие населенные пункты удовлетворяют

свои потребности за счет использования подземных вод. По предварительным данным общее потребление подземных вод составляет сейчас $600-700 \text{ м}^3/\text{с}$, однако уже на ближайшую перспективу потребность в подземных водах возрастает в 3—4 раза даже без учета перспектив использования подземных вод для орошения и других целей (15, 19).

Выполненные в последние годы гидрогеологические исследования свидетельствуют о том, что наша страна имеет большие ресурсы пресных подземных вод, пригодных для водоснабжения. Так, естественные ресурсы подземных вод зоны активного водообмена по результатам прогнозной оценки составляют в целом по стране $30\,550 \text{ м}^3/\text{с}$, а эксплуатационные ресурсы для хорошо изученной в геологическом отношении территории (европейская часть СССР, Казахстан, Средняя Азия, Кавказ) около $7000 \text{ м}^3/\text{с}$ (14, 15). 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 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. Государственный учет подземных вод и их использования осуществляется Министерством геологии СССР. В соответствии с действующим положением Министерство геологии ведет государственный учет подземных вод и наблюдение 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 водозаборов подземных вод), а также организует контроль за уровнем загрязнения подземных вод.

Решения о проектировании систем водоснабжения принимаются 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 (1, 2, 8, 9, 15, 19). Проект использования подземных вод для водоснабжения согласуется с органами санитарно-эпидемиологической службы и органами по регулированию использования и охране водных ресурсов.

Выбор источника водоснабжения и проект строительства водозабора обосновываются результатами специальных гидрогеологических и других видов исследований, которые на подземные воды

проводятся специализированными гидрогеологическими организациями с разрешения союзно-республиканских геологических органов или территориальных геологических управлений. Объем и характер таких исследований на каждой конкретной площади определяется 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 промышленным категориям с утверждением их в Государственной или территориальной комиссиях по запасам полезных ископаемых. При меньших размерах капиталовложений на строительство водозаборов 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 (4, 8, 9, 14—19). Обычно выделяются следующие стадии проведения исследований: поисковая, предварительная разведка, детальная разведка и 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.

Следует отметить, что гидрогеологические исследования 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 полу-

чить все необходимые для его проектирования и строительства машины. Более дифференцированно задачи гидрогеологических исследований рассмотрены ниже по стадиям их проведения.

Поисковая стадия. Целевое назначение работ этой стадии — выявление и выбор на основе предварительных данных перспективных для дальнейших разведочных работ и организации водозаборов подземных вод площадей (участков). Проведение поисков целесообразно при слабой гидрогеологической изученности района исследований, когда имеющихся геолого-гидрогеологических материалов недостаточно для выделения перспективных для разведки площадей. Одна из важнейших задач поисков — выявление основных закономерностей формирования и распространения подземных вод изучаемой территории. Решение этой задачи обеспечивает возможность обоснованного выделения перспективных для разведки площадей.

Поиски перспективных для водоснабжения месторождений подземных вод осуществляются либо в процессе планомерного государственного гидрогеологического картирования территории СССР (обычно в масштабах 1 : 200 000—1 : 100 000), либо путем проведения специализированных поисково-съемочных работ в районе объекта проектируемого водоснабжения. В первом случае обычно дается региональная прогнозная оценка естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод по всем перспективным площадям, во втором — осуществляется выделение и оценка перспективных площадей с учетом размещения и потребностей в воде конкретных водопотребителей.

Важнейшим этапом поисковых работ является сбор, обобщение и целенаправленный анализ материалов ранее выполненных в районе поисков геолого-гидрогеологических исследований и в том числе материалов многотомной монографии «Гидрогеология СССР». Для хорошо изученных в гидрогеологическом отношении районов задачи поисков, а иногда и предварительной разведки могут быть решены камеральным путем.

В недостаточно изученных районах поисковые работы включают комплексную геолого-гидрогеологическую или гидрогеологическую (на готовой геологической основе) съемку масштаба 1 : 200 000—1 : 50 000, бурение поисковых скважин, наземные и геофизические исследования в скважинах, пробные откачки, лабораторное изучение проб воды и горных пород, обследование и анализ условий работы действующих водозаборных сооружений, сбор гидрогеологических данных, топогеодезические и другие необходимые работы. Поиски обычно осуществляются вблизи объекта водопользования (на расстоянии 10—30 км), хотя в отдельных районах при большой потребности объекта в воде и отсутствии местных источников водоснабжения эти расстояния могут составить 50—100 км.

Поисковые скважины целесообразно располагать по поисково-разведочным поперечникам, размещение которых осуществляется с учетом данных площадных геофизических исследований. В ус-

ловиях степей, пустынь и полупустынь целесообразно применение геоботанических методов поисков. При глубоком залегании подземных вод (в крупных артезианских бассейнах и закрытых структурах) съемка нецелесообразна, основной упор в таких условиях делается на широкое использование геофизических исследований в сочетании с бурением и опробованием поисковых скважин.

В результате поисковых работ (на крупных территориях) должны быть выделены водоносные горизонты (комплексы) и участки, перспективные для постановки разведочных работ, дана прогнозная оценка эксплуатационных запасов подземных вод в пределах этих участков и установлена экономическая целесообразность и очередность их дальнейшего изучения.

Предварительная разведка. Цель разведочных работ этой стадии — предварительная оценка общей величины эксплуатационных запасов подземных вод в пределах выявленной в процессе поисков или по фондовым материалам перспективной площади (месторождения, отдельных участков месторождения) и обоснование целесообразности постановки детальной разведки. Предварительная разведка осуществляется при наличии заявленной потребности в воде, если выявленное на стадии поисков месторождение подземных вод (или его участок) по своим запасам, качеству вод и местоположению представляет промышленный интерес для последующего его освоения.

В процессе предварительной разведки изучаются основные особенности геолого-гидрогеологических условий месторождения подземных вод, определяются и предварительно оцениваются источники формирования эксплуатационных запасов, расчетные гидрогеологические параметры, санитарные и технико-экономические условия эксплуатации месторождения, его общие водные ресурсы и эксплуатационные запасы. Оценка эксплуатационных запасов проводится применительно к обобщенной схеме водозaborа, в основном по перспективным категориям (C_1 и C_2 , реже B) в пределах одного или нескольких перспективных для эксплуатации участков.

В общий комплекс работ предварительной разведки входят: гидрогеологическая съемка, бурение разведочных и наблюдательных скважин, опытно-фильтрационные работы, крупномасштабные площадные геофизические исследования и исследования в скважинах, отбор проб воды и пород и их лабораторное изучение, санитарное обследование площади, наблюдения за режимом подземных вод, топогеодезические работы и в необходимых случаях гидрологические, балансово-гидрометрические и специальные исследования (индикаторные, изотопные, ядерно-физические и др.).

Гидрогеологическая съемка (обычно в масштабах 1:50 000—1:25 000) проводится только в сложных природных условиях, когда изучаемые водоносные горизонты залегают неглубоко от поверхности и имеется возможность выявить при съемке условия их распространения, питания, разгрузки, изменения общей минерализации (если эти факторы не были изучены в процессе поисковых

работ). В относительно простых природных условиях она заменяется рекогносцировочным обследованием изучаемой площади с сохранением других видов разведочных работ (буровых, геофизических и т. п.). По материалам съемки или рекогносцировочного обследования, а также площадных геофизических исследований намечаются участки для заложения профилей и отдельных разведочных скважин (расстояние между профилями для различных типов месторождений подземных вод принимается от 1 до 5 км с расположением 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 проведения предварительной разведки должны быть оценены эксплуатационные запасы подземных вод по перспективным участкам (если их несколько), выполнена сравнительная оценка гидродинамических, санитарных и технико-экономических условий их эксплуатации и обоснована целесообразность проведения на той или иной перспективной площади детальных разведочных работ. Должны быть даны обоснованные рекомендации в отношении рациональной по сумме всех показателей схемы размещения будущего водозабора, методов оценки эксплуатационных запасов участка по промышленным категориям и решения других вопросов. В условиях крупного водоснабжения и при наличии нескольких возможных вариантов организации водоснабжения для решения вопроса о целесообразности проведения детальной разведки по тому или иному варианту может потребоваться составление технико-экономического доклада (ТЭДа) с соответствующими оценками, сопоставлениями и выводами (8, 14—16, 19).

В хорошо изученных и простых по гидрогеологическим условиям районах, где ресурсы подземных вод заведомо превышают потребность в воде, а участок под водозабор может быть выбран по фондовым материалам, предварительная разведка может не выполняться. В очень сложных гидрогеологических условиях (трещинно-карстовые и тектонические зоны), где для оценки эксплуатационных запасов необходимы длительные опытно-эксплуатационные откачки (гидравлический метод), предварительная разведка обычно совмещается с детальной.

Детальная разведка. Основные задачи детальной разведки — обоснование проекта строительства будущего водозабора и оценка эксплуатационных запасов подземных вод применительно к намеченнной рациональной схеме проектируемого водозабора по катего-

риям, обосновывающим выделение капиталовложений на его проектирование и строительство. Детальная разведка проводится только при наличии заявленной потребности в воде по согласованию с Госпланом, Госсаниспекцией (при хозяйственно-питьевом водоснабжении), потребителем и местными органами по использованию и охране водных ресурсов. Местоположение и размеры участков под детальную разведку определяются с учетом количества необходимой воды и требований к ее качеству, согласовываются с водопотребителем, землепользователем, проектной организацией и местными органами власти.

В процессе детальной разведки проводится изучение намеченного под водозабор участка с детальностью, обеспечивающей подсчет эксплуатационных запасов подземных вод по высоким категориям в требуемом их соотношении и получение материалов для проектирования новых водозаборных сооружений или расширения существующих водозаборов (4, 8, 9, 14—16, 19, 24).

Детальная разведка выполняется в основном в пределах площади эксплуатационного участка применительно к намеченному наиболее рациональной по сумме всех показателей схеме проектируемого водозабора. Этим и предопределяются в значительной мере характер и объемы выполняемых исследований, методика их проведения, глубина разведки и другие аспекты ее осуществления. В комплекс исследований при детальной разведке обычно входят: бурение разведочных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, проведение пробных, опытных (одиночных и главным образом кустовых) и опытно-эксплуатационных откачек, геофизические исследования в скважинах, наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод и действующих водозаборов, лабораторные, гидрометрические и топогеодезические работы, специализированное обследование участка водозабора, технико-экономические исследования и т. п.

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 паносятся 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.

В результате детальной разведки должны быть уточнены условия и источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, схема размещения эксплуатационных, резервных и наблюдательных скважин, оценены по высоким категориям эксплуатационные запасы и обоснован прогноз условий работы будущего водозабора (режим, дебиты скважин, изменение уровней и качества подземных вод, технико-экономические показатели работы водозабора и т. п.).

По результатам детальной разведки должен быть составлен отчет в соответствии с требованиями ГКЗ, отражающий результаты выполненных разведочных работ и содержащий оценку эксплуатационных запасов подземных вод по промышленным и перспективным категориям в соотношении, обеспечивающем проектирование и строительство водозаборных сооружений (9, 14, 16, 19). Детальная разведка считается завершенной после утверждения установленных эксплуатационных запасов подземных вод в Государственной или территориальной комиссиях по запасам полезных ископаемых (ГКЗ СССР или ТКЗ).

Эксплуатационная разведка. Исследования в процессе строительства водозабора и его последующей эксплуатации, входящие в комплекс эксплуатационной разведки, осуществляются в целях обеспечения надлежащего гидрогеологического надзора за строительством водозаборных сооружений, обоснования наиболее рационального режима и путей их эксплуатации, уточнения гидрогеологических условий эксплуатируемого месторождения и пересоценки и прироста эксплуатационных запасов подземных вод, гидрогеологического обоснования условий и возможности дальнейшего расширения и развития водоснабжения и охраны подземных вод от истощения и загрязнения.

Исследования начинаются с организации квалифицированной гидрогеологической документации и опробования в период строительства водозабора и сети режимных скважин и включают комплекс необходимых исследований и инженерных мероприятий по постоянному оперативному контролю и управлению режимом эксплуатации водозабора в течение всего периода его работы. Комплекс исследований эксплуатационной разведки включает главным образом систематические стационарные наблюдения за подземными и поверхностными водами, за режимом эксплуатации водозаборных скважин (поведение уровня, дебитов, химического состава, температуры) и ходом сработки естественных и эксплуатационных запасов и ресурсов подземных вод. Кроме того, выполняются опытно-фильтрационные работы (особенно при строительстве водозабора и его расширении), отбор проб воды и контрольные лабораторные исследования, при необходимости бурение дополнительных наблюдательных и разведочных скважин, топографо-геодезические и гидрометрические работы, опыты по искусственноному пополнению за-

пасов подземных вод, повышению производительности водозаборных скважин и др.

В результате исследований на действующих водозаборах обеспечивается оперативный контроль и управление режимом их эксплуатации, уточнение гидрогеологических условий и повышение степени изученности месторождения с переоценкой эксплуатационных запасов по более высоким категориям и их приростом, эффективно решаются задачи расширения водоснабжения, пополнения запасов подземных вод, их рационального использования и охраны от загрязнения и истощения. Детально особенности проведения эксплуатационной разведки подземных вод рассмотрены в работе Н. И. Плотникова (15). Обстоятельное изложение вопросов поисков и разведки подземных вод для целей водоснабжения дается в работах (3—7, 14—20).

§ 2. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей водоснабжения. Типизация месторождений подземных вод

Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей водоснабжения. Особенности исследований для водоснабжения предопределяются многими факторами: размерами водон потребления, 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 проводят. 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 фоновых и литературных материалов и работ по документации и опробованию скважин целесообразны специальное рекогносцировочное и сани-

тарное обследования района проектируемого водоснабжения, а также обследование и анализ условий работы действующих водо-заборных сооружений.

К разряду некрупного водоснабжения, разрешаемого проектированием и сооружением разведочно-эксплуатационных скважин, относится водоснабжение небольших населенных пунктов и промышленных объектов, сельскохозяйственное, полевое и другие виды водоснабжения. Детально вопросы проектирования разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения рассмотрены в специальных работах (2, 3, 8, 19).

При значительной потребности объектов в воде для обоснования проектов водоснабжения, как уже отмечалось выше, 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 охраны водных ресурсов района и т. д. Основной задачей, определяющей возможность организации водоснабжения того или иного объекта, является выявление и оценка эксплуатационных запасов подземных вод в количестве, обеспечивающем заявленную потребность в воде.

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 предъявляемым требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления. Из этого определения (9) следует, что при оценке эксплуатационных запасов 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 указанных показателей установлены четыре категории эксплуатационных запасов — *A*, *B*, *C₁* и *C₂*. К категориям *A* и *B* относят наиболее изученные по рассмотренным показателям эксплуатационные запасы, установленные, как правило, в результате детальной разведки подземных вод (эти категории называют также *промышленными*, так как на их основе разрешается проектирование и строительство водозаборных сооружений). Запасы, относимые к категориям *C₁* и *C₂*, являются менее изученными, ориентировочно установленными в процессе поисковых работ или предварительной разведки (запасы этих категорий используются для перспективного планирования эксплуатации подземных вод). Более детально и дифференцированно требования к изученности эксплуатационных запасов различных категорий изложены в инструкции ГКЗ.

Проектирование более или менее крупных водозаборов допустимо лишь при условии обеспечения заявленной потребности в воде эксплуатационными запасами промышленных категорий, утвержденных Государственной комиссией по запасам, при-

чем запасы категории *A* должны составлять не менее 50%. В сложных гидрогеологических условиях в связи с практической невозможностью и экономической нецелесообразностью доведения изученности запасов до категорий *A* и *B* допускается проектирование и строительство водозаборов при достигнутом в результате разведки соотношении запасов категорий *A* и *B*, в том числе и на базе запасов категории *B*. Проектирование и строительство более мелких водозаборов допустимо без утверждения эксплуатационных запасов в ГКЗ или при ином соотношении их категорий.

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 гидрохимических 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 водонапитки, 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 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 беспарорных 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 производи-

тельности 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 определяется 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 (6, 14—20). 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 слож-

ных гидрогеологических условиях (резкая и неравномерная трещиноватость и закарствованность 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 передко 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 является 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 подзем-

иных вод. Общее представление о балансовой структуре формирующихся в процессе работы водозабора эксплуатационных запасов Q_e и возможных источниках их восполнения дает следующее уравнение:

$$Q_e = a_1 Q_e + a_2 \frac{V_e}{t} + a_3 Q_n + a_4 \frac{V_n}{t} + Q_n, \quad (\text{IX.1})$$

где Q_e и Q_n — соответственно естественные и искусственные ресурсы, характеризуемые расходом потока в естественных условиях и за счет искусственных мероприятий (пополнения); V_e и V_n — соответственно естественные и искусственные запасы подземных вод, срабатываемые за время эксплуатации водозабора t ; 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); a_1, a_2, a_3, a_4 — соответственно коэффициенты использования естественных и искусственных запасов и ресурсов подземных вод.

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 $Q_{n\prime}$). При этом водозабор будет работать в условиях уставившейся фильтрации (например, инфильтрационные водозаборы вблизи естественных или искусственных контуров питания). При отсутствии дополнительных источников восполнения запасов подземных вод ($Q_n=0, V_n=0, Q_{n\prime}=0$) дебит водозаборов формируется за счет естественного расхода потока Q_e и сработки естественных запасов подземных вод (емкостных и упругих). В таких условиях (при $Q_e > Q_n$) 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 весьма перспективным представляется применение для оценки их эксплуатационных запасов *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 разведуемом 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 (инфилтратационное 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.). Особенno эффективным является использование метода аналогий для оценки эксплуатационных запасов и решения частных гидрогеологических задач, если в качестве аналога изучаемого объекта рассматривается действующий водозабор.

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. 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 (4, 5, 14—17, 25).

Л. С. Язвин, развивая классификацию промышленных типов месторождений подземных вод И. И. Плотникова (14), выделяет следующие основные типы месторождений подземных вод (25): 1) речных долин, 2) артезианских бассейнов платформенного типа, 3) конусов выноса, предгорных шлейфов и межгорных владин, 4) ограниченных по площади структур или массивов трещинных и трещинно-карстовых пород и зон тектонических нарушений, 5) артезианских бассейнов складчатых областей, 6) песчаных массивов, 7) межморенных флювиогляциальных отложений, 8) области развития многолетнемерзлых пород.

Следует отметить, что удельный вес выделенных типов месторождений подземных вод как источников водоснабжения неодинаков. Подавляющее большинство разведенных и эксплуатируемых в настоящее время месторождений относится к первым четырем типам, причем на долю месторождений речных долин приходится 60% от общего количества используемых эксплуатационных запасов подземных вод, в то время как доля последних четырех типов

месторождений подземных вод не превышает 10%. 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 не исключает возможности того, что и другие типы месторождений подземных вод могут быть источниками крупного и среднего водоснабжения, иметь большое народнохозяйственное значение. Так, водоснабжение г. Минска почти полностью основано на использовании подземных вод флювиогляциальных отложений. Линзы пресных вод песчаных массивов являются передко основным и единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения в аридных районах Казахстана и Средней Азии и т. д. (4, 14—20, 25).

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 (14, 16, 25).

При определении видов, объемов, методики и последовательности проведения поисково-разведочных работ следует учитывать специфические условия различных типов месторождений подземных вод и необходимость решения определенных задач на каждой стадии геологоразведочного процесса (см. гл. IX, § 1). Размещение разведочных и наблюдательных скважин 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).

Так, при поисках и предварительной разведке месторождений подземных вод речных долин разведочные скважины следует располагать так, чтобы можно было проследить изменение литологических особенностей, мощности и фильтрационных свойств водовмещающих пород и качества подземных вод по характерным направлениям. Обычно их размещают по поперечникам, секущим долину и заканчивающимся на коренном берегу (по 4—5 скважин на поперечнике: вблизи русла, в тыловой части террас, в месте их причаления к берегу и на коренном берегу). Для увязки полученных данных допустимо заложение одиночных скважин между поперечниками. 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 (наблюдательные скважины располагают по лучам, параллельным и перпендикулярным к реке). Количество кустов на каждом перспективном участке определяется геоморфологическими условиями и степенью однородности русловых отложений.

При поисках и предварительной разведке месторождений подземных вод артезианских бассейнов разведочные скважины целесообразно располагать по взаимно пересекающимся профилям для получения характеристики изменения фильтрационных свойств водоносных горизонтов и качества подземных вод по площади (вблизи границ пластов профили ориентируются нормально к границам). На стадии предварительной разведки при необходимости закладываются специальные опытные кусты скважин для изучения и оценки взаимосвязи продуктивного и смежных с ним в разрезе горизонтов. 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 разведочные скважины для выбора перспективного участка следует располагать по профилю, проходящему от предгорий до периферии конуса, ниже участка выклинивания подземных вод с последующим (на стадии предварительной разведки) разбуриванием на перспективных участках поперечных створов скважин глубиной 100—200 м (по 3—4 скважины на створе, расстояние между ними от 0,4—0,5 до 1—2 км). 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 величине родникового стока ниже участка разведки, превышающей заданную потребность объекта в воде, оценка эксплуатационных запасов может быть дана по результатам предварительной разведки (без детальных разведочных работ).

При поисково-разведочных работах в пределах месторождений подземных вод, приуроченных к ограниченным по площади структурам и массивам трещинных и трещинно-карстовых пород, для выявления характера структур и закономерностей изменения фильтрационных свойств пород и качества вод по площади и в разрезе, а также оценки ресурсов подземных вод в большом объеме проводятся геофизические площадные исследования, бурение скважин и их опробование, специальные балансово-гидрометрические работы и стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод и за работой действующих водозаборов. Разведочные скважины проходят чаще по поперечникам, задаваемым через все месторождение. На месторождениях с неравномерной трещинистостью и закарстованностью пород и сложными условиями питания и разгрузки подземных вод предварительная разведка сов-

мещается с детальной, с обязательными длительными опытно-эксплуатационными откачками и оценкой эксплуатационных запасов подземных вод гидравлическим методом.

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.

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 повариантных гидродинамических и технико-экономических расчетов. Количество разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин зависит от степени однородности фильтрационных свойств оцениваемого горизонта 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.

Для месторождений подземных вод, характеризующихся крайней невыдержанностью состава и мощностей водосодержащих пород (например, месторождений подземных вод флювиогляциальных отложений), 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.

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). Совершению обязательной является организация гидрогеологических наблюдений на действующих в пределах изучаемых месторождений водозаборах подземных вод. 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 (4—6, 14—20).

Оценка достоверности гидрогеологических прогнозов. Одним из важнейших вопросов, непосредственно связанных с объемами и методикой проведения поисково-разведочных работ и результатами оценки эксплуатационных запасов подземных вод, является оценка достоверности гидрогеологических прогнозов, выполняемых при расчете эксплуатационных запасов. В качестве критерия такой оценки Л. С. Язвин предложил принимать степень обоснованности исходных данных, используемых при гидрогеологических прогнозах (24). В частности, при оценке эксплуатационных запасов подземных вод основными исходными данными, предопределяющими достоверность выполняемых прогнозов и степень их соответствия фактическим показателям последующей эксплуатации, являются:

- 1) надежность установления основных источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод;
- 2) обоснованность определения значений расчетных гидрогеологических параметров;
- 3) выявление гидрохимических условий и возможных изменений качества подземных вод в процессе их эксплуатации.

Ведущий фактор, определяющий достоверность оценки эксплуатационных запасов, — возможная степень достоверности установления основных источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, находящих свое отражение в граничных условиях изучаемых объектов.

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 все факторы, определяющие закономерности формирования 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, кольматация 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 (23, 24):

Группа I — месторождения с простыми геологическим строением и гидрогеологическими условиями. Основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод могут быть надежно установлены в процессе разведочных работ. Подземные воды движутся в пористых и равномерно-трещиноватых, однородных в фильтрационном отношении породах. Показательными примерами месторождений этой группы являются месторождения артезианских бассейнов платформенного типа, приуроченные к однородным пластам, месторождения речных долин с обеспечением питанием подземных вод поверхностными и месторождения конусов выноса и межгорных впадин, а также линзы пресных вод с простой конфигурацией их границ.

Группа II — месторождения со сложными геологическим строением и гидрогеологическими условиями. Часть источников формирования эксплуатационных запасов может быть установлена в процессе разведочных работ надежно, часть — приближенно. Подземные воды приурочены к неоднородным и весьма неоднородным по фильтрационным свойствам трещиноватым и закарстованным породам, а также к пластам, резко неоднородным по мощности. Характерными примерами месторождений II группы являются месторождения: артезианских бассейнов платформенного типа, вскрытые в неоднородных и весьма неоднородных породах, речных долин с периодическим восполнением запасов подземных вод, красивых частей артезианских бассейнов, ограниченных по площади трещинно-карстовых структур, воды в которых связаны с реками, флю-

биогляциальных межморенных отложений и линз пресных вод в сложных гидрогеохимических условиях.

Группа III — месторождения с очень сложными геологическим строением и гидрогеологическими условиями. Источники формирования эксплуатационных запасов могут быть установлены в процессе разведочных работ только приближенно. Подземные воды приурочены к весьма неоднородным в фильтрационном отношении неравномерно-трещиноватым и закарстованным породам локального распространения или пластам, осложненным тектоническими нарушениями.

Примерами месторождений III группы могут быть месторождения трещинно-карстовых и трещинно-жильных вод, не связанные с реками, 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.

Наиболее высокая достоверность оценки эксплуатационных запасов подземных вод может быть обеспечена для месторождений первой группы, панимешая — для третьей 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. Так, для месторождений подземных вод второй группы сложности считается возможным доводить степень их изученности до условий, обеспечивающих оценку эксплуатационных запасов в размере заявленной потребности по категориям *B* и *C₁* (соответственно по 50 %), а для месторождений третьей группы сложности — до условий, обеспечивающих оценку эксплуатационных запасов по категории *C₁*.

Достоверность оценки эксплуатационных запасов существенно зависит от степени неоднородности фильтрационных свойств водоемещающих пород. 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 однотипно оборудованных скважин различаются не более чем в 5 раз, в неоднородных — в 5—10 раз и в весьма неоднородных — более чем в 10 раз.

Однородные пластины обычно сложены зернистыми и равномерно трещиноватыми породами со спокойными условиями залегания, неоднородные — неравномерно трещиноватыми и закарстованными породами, а также довольно часто валуно-гравийно-галечными отложениями с разнозернистым по составу заполнителем, весьма неоднородные — крайне неравномерно трещиноватыми и закарсто-

занными породами. Последние развиты чаще в складчатых областях и в пределах древних кристаллических щитов.

Другим критерием (при наличии соответствующих данных) может быть величина среднеквадратного отклонения логарифма водопроводимости $\sigma \lg T$: при $\sigma < 0,2$ пласт можно считать однородным, при σ равном $0,2-0,4$ — неоднородным; при $\sigma > 0,4$ — весьма неоднородным.

Достоверность определения расчетных гидрогеологических параметров в пластах различной степени неоднородности зависит от количества определений, поэтому для обеспечения соответствующей степени достоверности определения расчетных гидрогеологических параметров и обоснованности оценки эксплуатационных запасов подземных вод по промышленным категориям можно руководствоваться следующими условными рекомендациями. В однородных и условно однородных пластах (обычно пески) общее количество точек опробования в схеме водозабора должно составлять 10—15%, а в неоднородных — 40—50% от числа проектируемых водозаборных скважин. В весьма неоднородных пластах следует стремиться к тому, чтобы все места предполагаемого размещения водозаборных скважин были опробованы в фильтрационном отношении. На каждом конкретном объекте исследований виды и объемы опытно-фильтрационного опробования необходимо корректировать, учитывая опыт разведки месторождений подземных вод в аналогичных природных условиях.

Аспект качественной оценки, обеспечивающей достоверное определение эксплуатационных запасов подземных вод, предполагает выявление качества воды в пределах намечаемого к эксплуатации объекта и соответствие этого качества установленным кондиционным требованиям и условиям эксплуатации. Соответствующие требования к качеству воды при хозяйственно-питьевом водоснабжении определяются действующими государственными стандартами (ГОСТ 2874—73 и ГОСТ 2761—74), при производственно-техническом и других видах водоснабжения — соответствующими строительными нормами, правилами и техническими условиями (2, 3, 8, 9, 14—17, 19).

§ 3. Технико-экономические обоснования при гидрогеологических исследованиях для целей водоснабжения

Технико-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, § 5), поэтому здесь имеет смысл остановиться только на вопросах технико-экономической оценки проектных вариантов, их сопоставлении и определении экономической эффективности.

Технико-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 является обязательной. 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, отличающиеся лишь схемой расположения скважин или способом их эксплуатации. Очевидно, что 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 (2, 7, 19). 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 (7, 8, 21). 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 \mathcal{U} , себестоимости получения воды C_i и затрачиваемых капиталовложений K_i по всем рассматриваемым вариантам:

$$E_i = \frac{365Q_i(\mathcal{U} - C_i)}{K_i} \text{ или } T_i = \frac{K_i}{365Q_i(\mathcal{U} - C_i)}. \quad (\text{IX.2})$$

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 организаций 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 \mathcal{E} . 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_{dk} , коэффициент сравнительной экономической эффективности E_{dk} и приведенные затраты Z_n .

Превышение в капиталовложениях сопротивляется с экономией от снижения себестоимости. Сопротивление осуществляется следующими методами.

1. *Сравнение вариантов по коэффициенту экономической эффективности.* Коэффициент экономической эффективности определяется по формуле

$$E_{dk} = \frac{(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}{(K_1 - K_2)} = \frac{365Q_z(C_2 - C_1)}{(K_1 - K_2)}, \quad (\text{IX.3})$$

где Q_z — суммарный водоотбор, м³/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_{dk} с нормативным коэффициентом E_n , определяют наиболее эффективный вариант. Так, для предложенного выше примера сравнения двух вариантов ($K_1 > K_2$, $C_1 < C_2$), при $E_{dk} > E_n$ первый вариант является более эффективным, так как сравнительный коэффициент его экономической эффективности выше нормативного. При $E_{dk} < E_n$ более эффективен второй вариант и при $E_{dk} = E_n$ —

сравниваемые варианты экономически равнозначны. 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 $E_{дк}=0,12$.

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 $T_{дк}$ меньше нормативного T_n и т. д. Нормативный срок окупаемости в водном хозяйстве $T_n=8—8,5$ лет (12).

3. Сравнение вариантов по приведенным затратам. Этим методом можно из любого числа сравниваемых вариантов найти оптимальный по наименьшим затратам. Для определения «приведенных затрат» используются нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности E_n и отраслевой нормативный срок окупаемости T_n . Приведенные затраты Z_p определяются по следующим формулам:

$$Z_{p,i} = K_i + \vartheta_i T_n = K_i + 365Q_2 T_n C_i; \quad (IX.4)$$

$$Z_{p,i} = \vartheta_i + E_n K_i = 365Q_2 C_i + E_n K_i, \quad (IX.5)$$

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 по методике, изложенной в работах (2, 7, 21).

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):

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{Z}_{n,1} - \mathcal{Z}_{n,2} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + E_n(K_1 - K_2), \quad (\text{IX.6})$$

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 (2, 7, 12, 19).

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, 256 с.
2. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. М., Стройиздат, 1974, 480 с.
3. Белицкий А. С., Дубровский В. В. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. М., «Недра», 1974, 256 с.
4. Биндерман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970, 216 с.
5. Бочевер Ф. М. Теория и практические методы расчета эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968, 328 с.
6. Гавич И. К. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования. М., 1972, 98 с.
7. Глазунов И. С. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию рациональных схем скважинных водозаборов при разведке подземных вод. М., «Недра», 1973, 129 с.
8. Госстрой СССР. СНиП II-31—74. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., Стройиздат, 1975, 150 с.
9. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1962, 86 с.
10. Климентов П. П. Методика гидрогеологических исследований. М., «Высшая школа», 1967, 422 с.
11. Климентов П. П., Кононов В. М. Динамика подземных вод. М., «Высшая школа», 1973, 440 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. Колбасов О. С. Водное законодательство в СССР. М., «Юридическая литература», 1972, 216 с.
14. Плотников Н. И. Поиски и разведка пресных подземных вод для целей крупного водоснабжения. Ч. 1 и 2. Изд-во МГУ, 1965, 1968, 713 с.
15. Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., «Недра», 1973, 296 с.
16. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред. Н. Н. Биндермана. М., «Недра», 1969, 328 с.
17. Поиски, разведка, оценка запасов и эксплуатация линз пресных вод. М., «Недра», 1969, 304 с.
18. Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах. М., «Недра», 1972, 196 с.
19. Проектирование водозаборов подземных вод. Под ред. Ф. М. Бочевера. М., Стройиздат, 1976, 292 с.

- 20 *Региональная оценка ресурсов подземных вод*. М., «Наука», 1975, 136 с.
21. *Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений*. М., «Экономика», 1969, 14 с.
22. *Шестаков В. М. Динамика подземных вод*. Изд-во МГУ, 1973, 328 с.
23. *Язвин Л. С. О принципах категоризации эксплуатационных запасов подземных вод — Сб «Вопросы оценки эксплуатационных запасов подземных вод»*. М., тр. ВСЕГИНГЕО, вып. 32, 1970, с. 4—14
24. *Язвин Л. С. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод (методические рекомендации)*. М., 1972, 149 с.
- 25 *Язвин Л. С., Боревский Б. В. Типизация месторождений подземных вод*. — Сб. «Вопросы оценки эксплуатационных запасов подземных вод». М., тр. ВСГИНГЕО, вып 93, 1976, с. 4—14.

ГЛАВА X

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 исключительно важное значение. Особую актуальность эти вопросы приобретают на современном этапе развития народного хозяйства в условиях 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 (1).

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 их 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, являющихся 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, широко осуществляются мероприятия по предотвращению загрязнения вод и строительству водоохраных сооружений, разработана Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР, определяющая основные направления развития водного хозяйства и мероприятия по охране водных ресурсов от загрязнения и истощения на перспективу до 1985 г. В настоящее время разрабатывается новая Генеральная схема на перспективу до 2000 г.

В системе мероприятий по рациональному использованию и охране водных ресурсов исключительно большое внимание уделяется подземным водам как основному источнику хозяйственно-лечебно-питьевого водоснабжения. Функции государственного учета подземных вод, их изучения, оценки и контроля за их состоянием, использованием и охраной от загрязнения и истощения возложены на Министерство геологии СССР, которое паряду с этим обязано обеспечивать заинтересованные организации данными о подземных водах и гидрогеологическими прогнозами условий их эксплуатации.

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 искусственно 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-бактериологического 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. детально 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 как источнику хозяйственно-питьевого водоснабжения определяются в нашей стране действующими государственными стандартами. Выбор и оценка источника водоснабжения для хозяйственно-питьевых целей осуществляются на основе учета требований ГОСТ 2761—74 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения». При использовании подземных вод без проведения мероприятий по улучшению их качества (что чаще всего практикуется) они должны соответствовать требованиям ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая» (см. подробнее гл. VI, § 2).

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, аг-

рессивность, 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 (6, 7).

Соответствие качества подземных вод предъявляемым требованиям, установленное в естественных условиях их залегания, еще не определяет возможности и целесообразности их использования для целей водоснабжения. Оценку 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 намечаемого к эксплуатации водоносного горизонта, его границ и граничных условий в плане и в разрезе, наличия 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, химического и реже радиоактивного и механического загрязнения.

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) земледельческих 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 водоподготовительных сооружений, 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.

Основной задачей прогнозной оценки качества подземных вод является выявление возможных изменений показателей качества воды в процессе эксплуатации и степени их соответствия требованиям ГОСТов и потребителей, а это 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. Содерж-

жание и объемы разведочных и опытных работ по изучению качества подземных вод и их прогнозной оценке устанавливаются на каждом конкретном участке дифференцированно в зависимости от сложности гидрогеологических, гидрохимических и санитарных условий месторождения или его участка.

На месторождениях с простыми (благоприятными) гидрохимическими и санитарными условиями (совместное 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, уточнению 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 и т. д.

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 возможно использование моделирования, длительных опытно-эксплуатационных откачек, наблюдений за режимом, специальных гидрогеологических, геофизических и других исследований (3, 7, 9—12).

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 (6, 7, 9—12). Проект зоны санитарной охраны водозабора подземных вод должен быть основан на материалами специальных гидрогеологических, гидрохимических и санитарных исследований, выполняемых в процессе разведки месторождения, и согласован с органами санитарно-эпидемиологической службы. Он 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.

Для водозаборов подземных вод необходимо устанавливать два пояса зоны санитарной охраны. Границы территории первого пояса (пояс строгого режима) определяются на расстоянии не менее 30 м от водозабора для надежно защищенных горизонтов и не менее 50 м для недостаточно защищенных с поверхности горизонтов и шифльтрационных водозаборов. Территория первого пояса ограждается и благоустраивается. В ее пределах запрещается производить работы, не связанные с эксплуатацией водозабора (3, 6, 9, 10). При проектировании шифльтрационных водозаборов в первый пояс зоны санитарной охраны включается также прибрежная территория между водозабором и водоемом.

Границы второго пояса зоны санитарной охраны (пояс ограниченного режима) устанавливаются, исходя из санитарных, гидрохимических и гидрогеологических условий, и обосновываются расчетами, подтверждающими сохранение качества воды на уровне предъявляемых требований в течение расчетного периода эксплуа-

тации водозабора при условии выполнения определенного комплекса мероприятий и поддержания соответствующего режима в зоне санитарной охраны водозабора. Зона санитарной охраны (второй пояс) в виде полосы шириной 20–50 м необходима и вдоль водоводных сооружений, и это следует учитывать при выборе местоположения эксплуатационного участка. В пределах территории второго пояса регулируются и контролируются строительные работы, запрещается сооружение объектов, представляющих опасность с точки зрения загрязнения подземных вод и ухудшения условий эксплуатации водозабора, осуществляется общее благоустройство территории и проводятся мероприятия по поддержанию в ней благоприятной санитарной обстановки.

Положение границ второго пояса зоны санитарной охраны устанавливается из таких соображений, чтобы расстояние от них до водозабора исключало возможность поступления загрязненных подземных вод к скважинам водозабора в течение расчетного срока их эксплуатации либо чтобы при движении загрязненных подземных вод от границы зоны до водозабора происходило их естественное очищение до степени соответствия их качества предъявляемым требованиям. Для исключения возможности химического загрязнения, длительно сохраняющегося в условиях подземного потока, границы второго пояса охраны намечаются с учетом положения нейтральной линии тока, ограничивающей область питания водозабора при его эксплуатации. При возможности бактериального загрязнения они устанавливаются на таком расстоянии, чтобы время движения загрязненных подземных вод до водозабора превышало срок выживаемости бактерий в условиях подземного потока. Методы гидрогеологического обоснования размеров зон санитарной охраны (аналитические и графоаналитические) детально рассмотрены в работах Е. Л. Минкина (9, 10).

В сложных гидрохимических и санитарных условиях обоснование положения границ второго пояса зоны санитарной охраны 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 рассмотрены также в работах Ф. М. Бочевера, А. Е. Орадовской, Н. И. Плотникова и др. (3, 12).

§ 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 прес-

ных 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 сельскохозяйственного освоения, а также при решении некоторых других задач (2, 5, 6, 11, 14).

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.

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 преимущества 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,

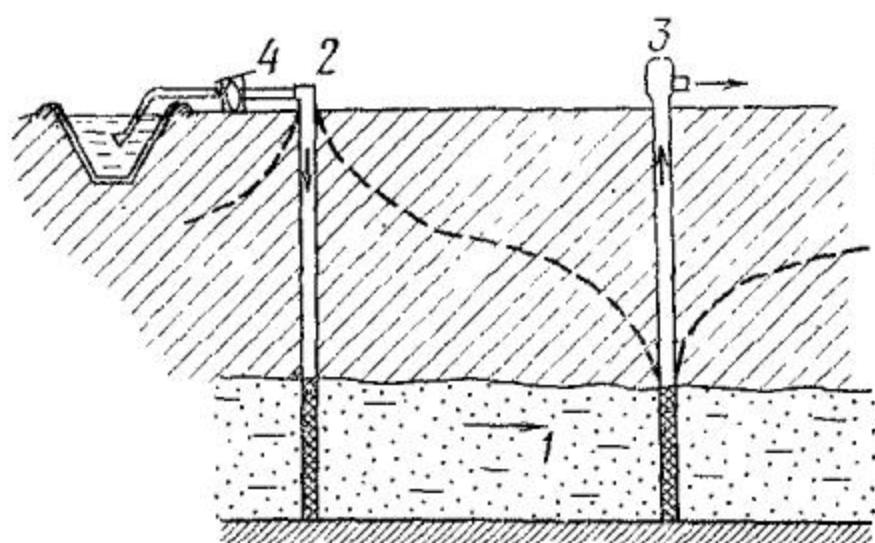


Рис 51 Система искусственного пополнения напорных вод с нагнетательными скважинами:

1 — объект пополнения; 2 — нагнетательная скважина; 3 — водозаборная скважина, 4 — насосная станция для подачи воды в нагнетательную скважину

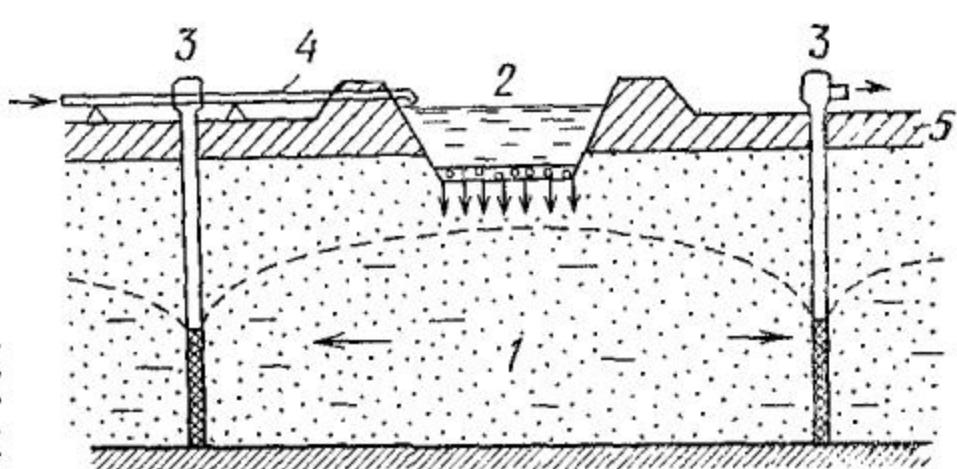


Рис 52. Система искусственного пополнения подземных вод с инфильтрационным бассейном:

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. 51 и 52).

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, системы искусственного пополнения имеют в своем составе сооружения трех типов: а) инфильтрационные, при помощи которых воды источника пополнения переводятся в продуктивный горизонт (путем инфильтрации или закачки); б) водозaborные (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).

Водозaborные 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, галерси) типов.

В системах искусственного пополнения, обеспечивающих свободную инфильтрацию подаваемых вод, распределение их по поверхности осуществляется следующими способами: бассейновым, с помощью каналов, 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 (2, 6, 14). На рис. 51 и 52 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 (2, 11, 12, 14). Благоприятные условия выявляются в результате регионального изучения и оценки территории СССР или отдельных ее регионов по условиям создания искусственных запасов подземных вод. По результатам такого изучения выполняется гидрогеологическое районирование территории по условиям искусственного пополнения подземных вод и создания их запасов, которое служит теоретической основой для широких и планомерных гидрогеологических исследований, осуществляемых для обоснования и внедрения в народное хозяйство такого нового и эффективного метода регулирования, охраны и рационального использования водных ресурсов, как искусственное пополнение и создание запасов подземных вод.

Основными критериями при выделении таксономических единиц районирования следует считать наличие подземных емкостей — коллекторов для магазинирования 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 (кли-

мат, 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 эффективности 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 три стадии: поиски, предварительная разведка, детальная разведка. В зависимости от сложности и степени изученности гидрогеологических условий района исследований отдельные стадии

могут выпадать и совмещаться. Так, на участках действующих водозаборов решение задач гидрогеологического обоснования искусственного пополнения осуществляется на основе материалов проектирования и эксплуатации водозабора с выполнением некоторых видов специальных исследований в рамках эксплуатационной разведки. 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.

На стадии поисков выполняется геолого-гидрогеологическая и геофизическая съемка с полным комплексом входящих в нее исследований и предварительным изучением и оценкой возможных источников восполнения запасов подземных вод, организуются наблюдения за режимом поверхностных и подземных вод, осуществляются лабораторные исследования. В результате целенаправленного анализа материалов исследований и ориентировочной количественной и технико-экономической оценки условий искусственного пополнения на перспективных площадях выбирается участок (участки) для постановки разведочных работ.

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 (как правило, по категориям *A+B+C*). Обычно в комплекс работ входят: бурение разведочных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, проходка шурfov и котлованов (бассейнов), опытно-фильтрационные работы (откачки, наливы в шурфы, наливы и нагнетания в скважины), наблюдения за режимом поверхностных и подземных вод, геофизические и лабораторные исследования. Разведочные скважины закладываются по линиям намечаемых ин-

фильтрационных 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, кольматации 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 должно отвечать требованиям погребителя (при хозяйственном водоснабжении требованиям ГОСТа 2874—73). 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 водобалансовые исследования для изучения его режима в годовом и многолетнем разрезах (5, 11, 14).

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 Н. А. Плотникова и К. И. Сычева (11, 14).

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. Наиболее успешно оно практикуется при водоснабжении городов Риги, Каунаса, Вильнюса, Тбилиси, Ташкента, Канска, Черновиц, Ивано-Франковска, где производительность водозаборов достигает 80—200 тыс. м³/сут и более.

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 искусственноному 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 капиталовложения 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 искусственноному пополнению подземных вод.

Методика определения размеров капиталовложений, эксплуатационных расходов и себестоимости получения воды при решении задач водоснабжения достаточно детально рассмотрена в работе И. С. Глазунова (4). 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 со-

оружений). Соответственно 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_{dk} , срока окупаемости дополнительных капиталовложений T_{dk} и приведенных затрат Z_p (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_p и \mathcal{E}_p) 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 показатели 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 $T_{дкп}$ или коэффициента экономической эффективности $E_{дкп}$ имеют вид:

$$T_{дкп} = \frac{K_{н}}{[365Q_2(\mathcal{U} - C_2) - 365Q_1(\mathcal{U} - C_1)]} \quad (X.1)$$

и

$$E_{дкп} = \frac{[365Q_2(\mathcal{U} - C_2) - 365Q_1(\mathcal{U} - C_1)]}{K_{н}},$$

где $K_{н}$ — капиталовложения на устройство системы искусственного пополнения подземных вод.

Вариант с искусственным пополнением подземных вод экономически целесообразен, если значения показателей $T_{дкп}$ и $E_{дкп}$ не выходят за пределы их нормативных значений.

Экономическая эффективность искусственного пополнения подземных вод может быть установлена сравнением затрат на пополнение ($K_{н}$ и $\mathcal{Z}_{н}$) 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 $T_{дк}$, коэффициента сравнительной экономической эффективности $E_{дк}$, приведенных затрат $Z_{н}$ и годового экономического эффекта $\mathcal{E}_г$), 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.

Весьма заслуживает внимания вопрос использования подземных вод, искусственно пополняемых за счет инфильтрации полив-

ных 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 введение 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 водопроницаемых 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 и перфорация гидрогеологических скважин. 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 дает торпедирование скважин в слабопроницаемых скальных трещиноватых породах (кристаллических сланцах, гранитах, песчаниках, конгломератах, известняках), где вследствие взрыва торпеды происходит дробление пород и увеличение их трещиноватости и водопроницаемости. Оно эффективно также при застое 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.

Повышению водопроницаемости призабойной зоны скважин и увеличению их дебита способствует также перфорация скважин, заключающаяся во вскрытии продуктивного пласта с помощью простреливаемых в стенках скважины каналов. 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 большее производительность скважин (желательно плотность перфорации доводить до 25—50 прострелов и более на 1 пог. м).

Для перфорации гидрогеологических скважин используются пулевые (типа АПХ-98, ПБ2-100) и кумулятивные перфораторы (типа ПК, ПН, ПКС и КПР). Возможно также применение гидропеско-струйной и торпедной перфорации. Особенно широкое применение находит перфорация при освоении скважин на подземные воды глубоких структурных горизонтов и в нефтепромысловый гидрогеологию. Эффективное применение торпедирования и перфорации скважин невозможно без тщательного изучения геолого-литологического разреза и гидрогеологических условий.

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. К кислотной обработке фильтров прибегают для восстановления дебита скважин, снившегося 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 кольматирующих фильтры отложений, состава пород, материала и типа фильтров и т. д. (6, 13).

Солянокислотная обработка может применяться для скважин в рыхлых и трещиноватых породах, оборудованных фильтрами любых конструкций, не разрушающихся от действия соляной кислоты. Для обработки фильтров и призабойной зоны скважин применяют обычно раствор ингибиированной соляной кислоты 10—15%-ной концентрации (при расходе ее от 0,1—0,5 до 1—1,5 м³ на 1 м длины водоприемной части скважины). Кислоту заливают в скважину и продавливают в призабойную зону. Она растворяет образования, закупоривающие фильтр (гидраты окиси железа, углекислый кальций и магний и др.), а также реагирует с породами призабойной зоны и пласта; растворяя заполняющие поры, трещины и каналы карбонатные и ильистые образования, кислота расширяет их, поэтому кислотную обработку используют как для улучшения проницаемости фильтров и призабойной зоны, так и для повышения проницаемости водоносного пласта (особенно карбонатных отложений). Эффект обработки зависит от глубины проникновения кислоты в пласт и времени ее реагирования с осадками, образовавшимися на фильтрах и породами.

Эффективность кислотной обработки скважин и пласта может быть повышена за счет герметизации скважин после заливки и продавливания в них кислоты, повторения кислотной обработки после интенсивной прокачки скважин, предварительного проведения других профилактических мероприятий (чистки, прокачки и т. п.).

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 загруженными в скважину реагентами).

В благоприятных условиях (трещиноватые карбонатные пласти) кислотная обработка пласта и фильтров обеспечивает увеличение дебита скважин в 2—5 раз. Известны случаи увеличения первоначального дебита скважин в 8—10 и более раз.

Гидравлический разрыв пласта. Этот метод 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. Сначала скважина соответствующим образом герметизируется (в устьевой ее части или у верхней границы подлежащего разрыву пласта), затем закачивается жидкость под давлением, обеспечивающим гидравлический разрыв пород продуктивного пласта. Для предотвращения смыкания трещин разрыва после закачки в пласт вместе с жидкостью (вода, нефть) вводится круп-

иозеристый песок — 200—500 кг/м³, который способствует сохранению достигнутой в результате раскрытия и образования трещин проницаемости пласта и благоприятных условий для притока жидкости к скважинам. Схема образования трещин при гидравлическом разрыве пласта приведена на рис. 53.

Гидравлический разрыв слабопроницаемых пластов является универсальным методом увеличения их проницаемости, так как может применяться в самых 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 мест-

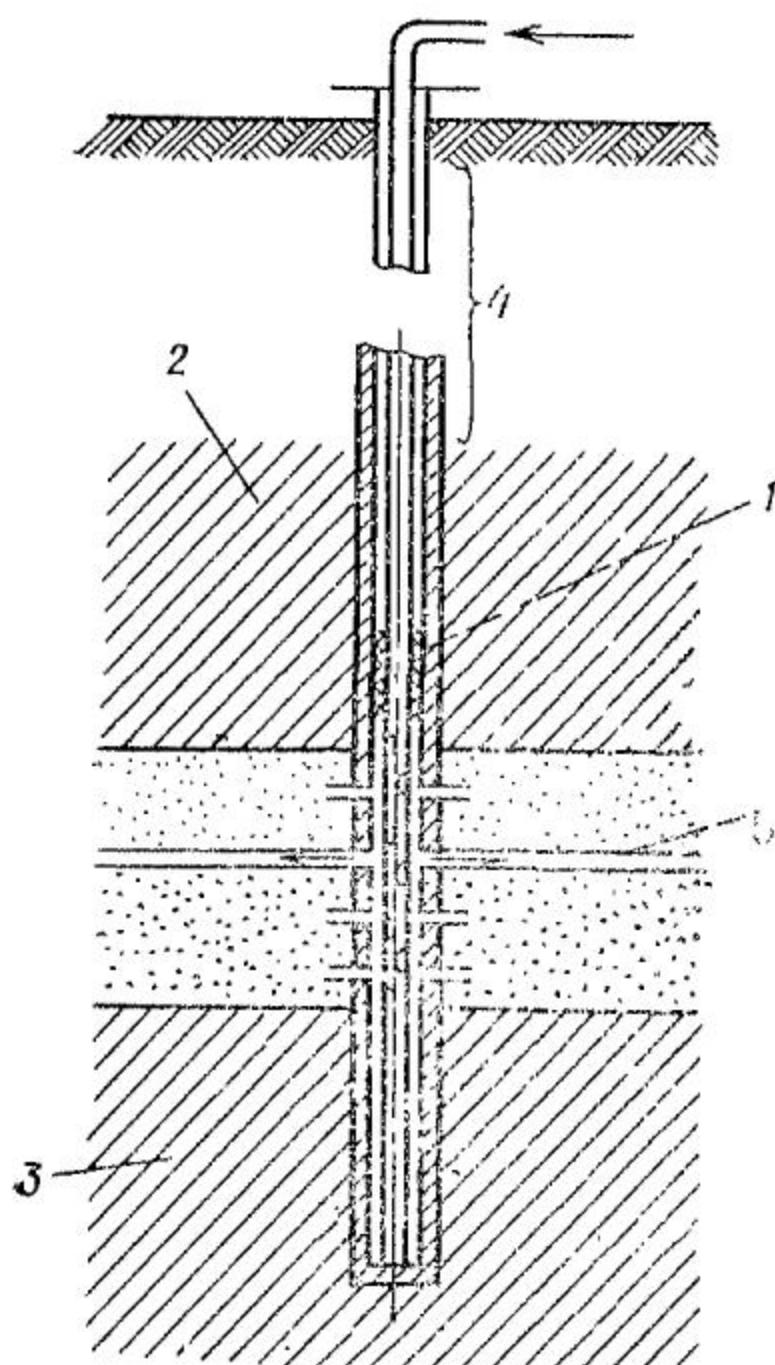


Рис. 53. Схема образования горизонтальной трещины при гидравлическом разрыве пласта:

1 — пакер; 2 — непроницаемые породы кровли пласта, 3 — непроницаемые породы подошвы пласта, 4 — разгружающий пласт, 5 — горизонтальная трещина

чения их проницаемости, так как может применяться в самых 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 мест-

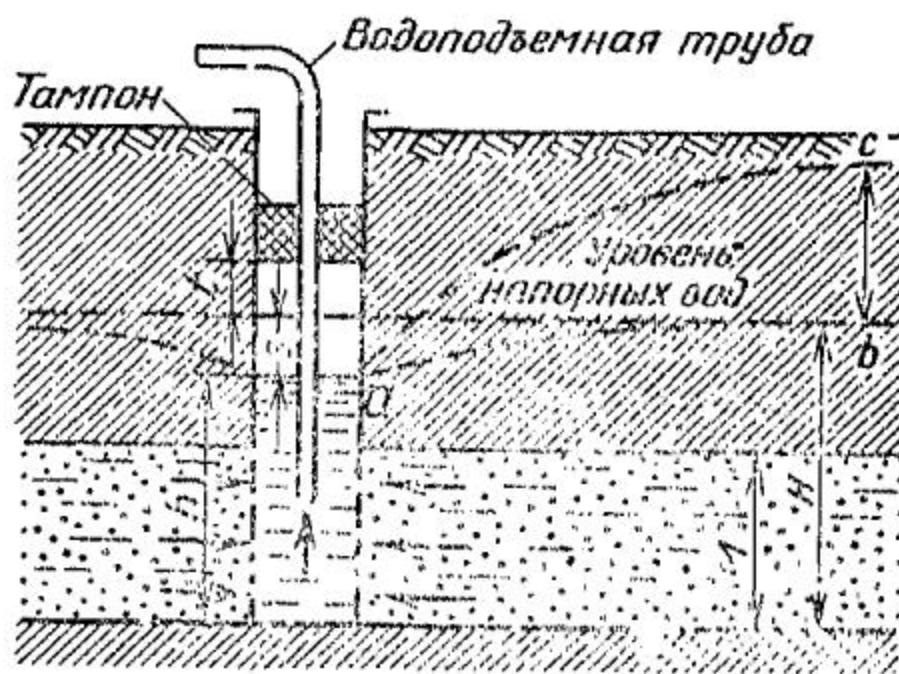


Рис. 54. Схема вакуум-скважины в напорном водопосном горизонте

рождений глубоких минеральных, промышленных и термальных подземных вод, где он еще не нашел широкого практического применения.

Вакуумирование скважин. Вакуумирование вызывает интенсивный приток жидкости к скважинам, так как устраняет атмосферное противодавление и вызывает соответствующее повышение напора в призабойной зоне вакуумированных скважин (рис. 54).

Для вакуумирования нижняя часть скважины изолируется от атмосферного воздействия тампоном (рис. 54) или эксплуатационная скважина оборудуется дополнительным, периодически включающимся вакуум-насосом, поддерживающим определенное разреже-

ние в устьевой ее части, также изолированной от атмосферы тампоном. Вакуумирование скважины нередко обеспечивает приращение напора (отрезок b с на рис. 54) на 8—8,5 м и увеличение дебита как бы за счет дополнительного понижения, равного по величине приращению напора, вызываемого вакуумированием.

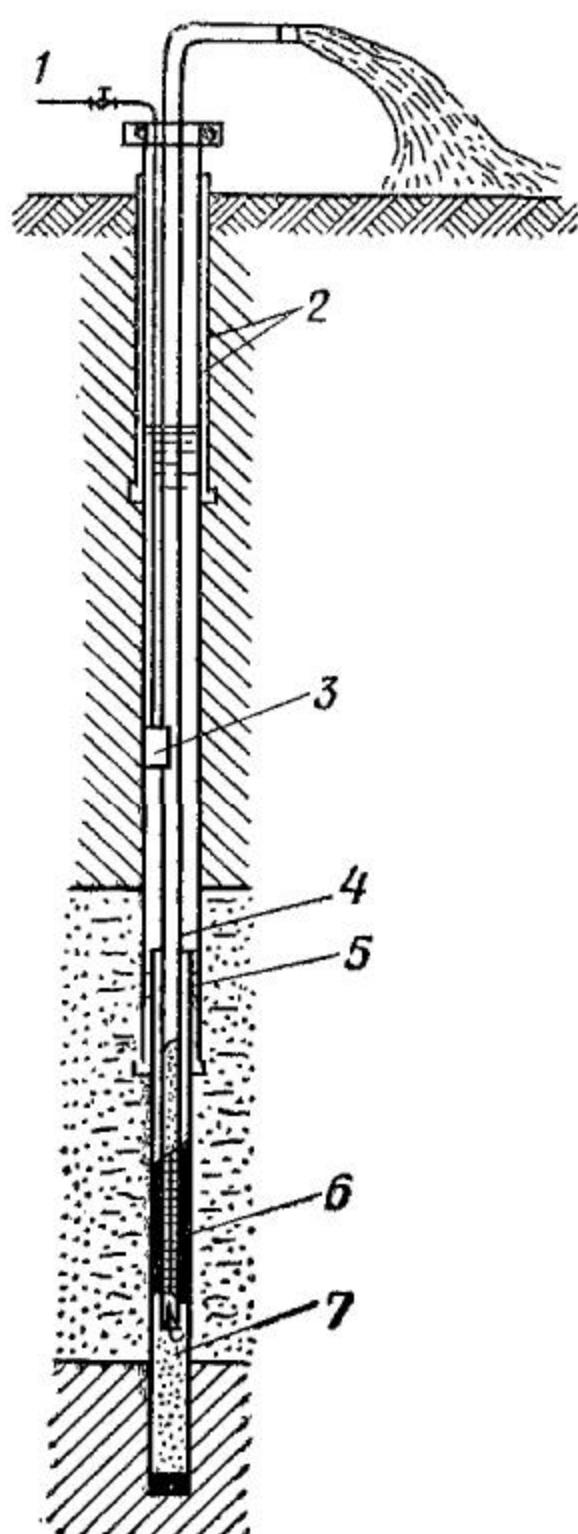


Рис. 55 Прочистка фильтра с помощью эрлифта при параллельном расположении водоподъемных и воздушных труб.

1 — воздушные трубы; 2 — обсадные трубы; 3 — форсунка, 4 — водоподъемные трубы, 5 — сальник, 6 — фильтр; 7 — минеральные осадки

формирования естественного фильтра, улучшающие проницаемость призабойной зоны и, увеличивающие дебит скважины по сравнению с длительными опытно-эксплуатационными откачками на 5—10%.

Механическая прочистка фильтров. Для ликвидации последствий механической и химической кольматации фильтров гидрогеологических скважин и восстановления утраченной водопропускной способности их применяется механическая прочистка: а) с по-

Наиболее эффективно вакуумирование при эксплуатации напорных вод. Оно применяется и при эксплуатации грунтовых вод, особенно если они перекрыты с поверхности относительно слабопроницаемыми для воздуха породами.

Разработка скважин. Определенное увеличение дебита скважин может быть обеспечено разработкой их в процессе освоения интенсивными и пульсирующими откачками, прокачками, нагнетаниями. Сущность этих мероприятий сводится к созданию в призабойной зоне осваиваемых скважин высоких градиентов и скоростей фильтрации, которые способствуют очистке фильтра, а также пор и трещин призабойной зоны от шлама, рыхлого песчано-глинистого материала, глинистого раствора и существенно улучшают условия притока воды к скважине. Указанными методами можно пользоваться при освоении скважин, вскрывающих подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах, а также в зернистых коллекторах. Для повышения эффективности разработки скважин применяют чередование откачки с промывкой, а также с наливами и нагнетаниями. В слабоводообильных породах скважины разрабатывают тартанием и свабированием.

При освоении скважин большого диаметра, проходимых роторным способом и оборудуемых гравийными фильтрами, целесообразны поинтервальные прокачки, создающие благоприятные условия для

мощью поршневых и простых жалонок, б) обратной промывкой скважин, в) с помощью эрлифтных установок, г) специальными ершами, д) гидравлическими ударами и вакуумированием.

Наиболее надежные результаты обеспечиваются при прочистке фильтров обратной промывкой скважин с помощью эрлифта. Перспективно также комбинирование различных способов прочистки фильтров.

При *обратной промывке скважин* вода, нагнетаемая насосом, подается в зазор между обсадными трубами и водоподъемной трубой, проущенной в центре. Через водоподъемную трубу вода выносит размываемый песок и колматирующие фильтр частицы. Эрлифтная откачка эффективно чистит фильтры из любых материалов без какого-либо их повреждения (рис. 55).

Для удаления осадков с внутренней стороны фильтров применяют *специальные ерши*, опускаемые в скважину на штангах или тросах. Для более качественной прочистки фильтра через штанги подается под большим давлением вода, обеспечивающая промывку прочищаемых ершом участков фильтра.

Прочистка проходных отверстий фильтра от механической закупорки проводится также *гидравлическими ударами специальными поршнями с манжетами и клапаном* с последующим созданием в скважине вакуума. Для увеличения массы поршня на него падаиваются ударный патрон. При быстром погружении на тросе такого снаряда в скважину через столб воды передается давление на забой и стенки фильтра, которое и приводит к частичному освобождению проходных отверстий от песчаного и другого заполнения. При дальнейшем погружении поршня клапан открывается и пропускает воду. Резкий подъем поршня создает в скважине вакуум, под действием которого подземная вода из пласта с большей скоростью устремляется в скважину и частично вымывает песчаные и другие частицы, колматирующие фильтр и призабойную зону.

В США применяется способ, при котором гидравлический удар возникает от сбрасывания в скважину калиброванной металлической болванки.

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. В таких условиях из основного ствола скважины с помощью специальных переводников бурятся вспомогательные скважины с различными азимутами отклонения (рис. 56), образующими водоприемную часть многозабойной скважины и обеспечивающими увеличение ее дебита в несколько раз.

Выбирать место заложения многозабойной скважины и бурить вспомогательные скважины следует с учетом пространственных за-

кономерностей развития трещиноватости и закарстованности водоносных отложений, выявляемых разведочными работами.

Успешный опыт бурения многозабойных скважин в карбонатных породах на Урале указывает на большие перспективы подобных водозаборов в условиях развития трещиноватых и закарстованных карбонатных пород.

Свообразным 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. Фильтровые скважины в таких условиях не обеспечивают длительной эксплуатации скважин со значительными дебитами. Дебит бесфильтровых скважин на водоносные горизонты мелкозернистых песчаных отложений в Белоруссии составляет обычно 1000—2000 м³/сут и более, в то время как производительность фильтровых скважин в аналогичных условиях в 4—5 раз ниже. Таким образом, применение бесфильтровых скважин увеличивает возможности отбора подземных вод из песчаных горизонтов, уменьшает затраты на их разведку, сооружение водозаборов и их эксплуатацию и является весьма перспективным направлением в практике использования ресурсов подземных вод.

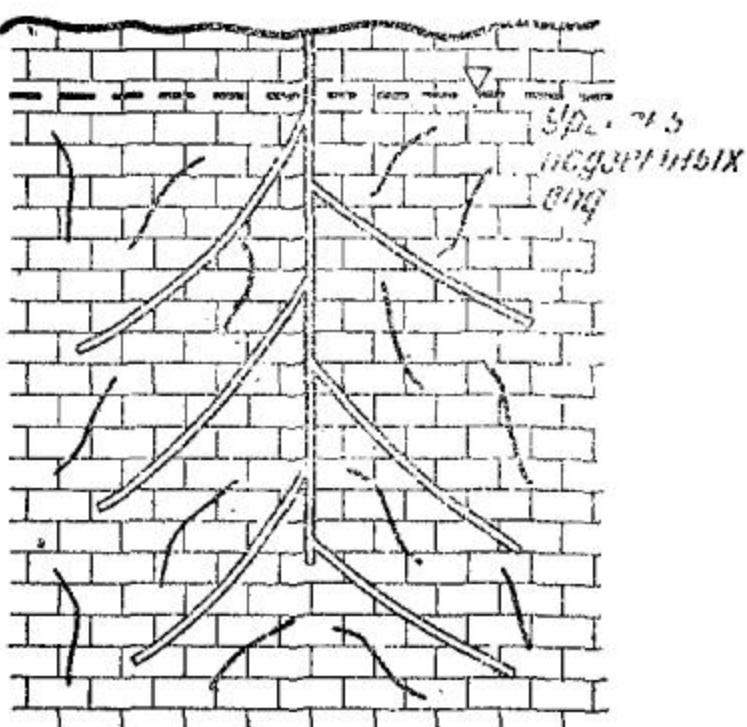


Рис. 56. Схема многозабойной скважины

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, 256 с.
2. Алексеев В. С., Боголюбов К. С., Никольская Е. А. Отечественный и зарубежный опыт искусственного пополнения запасов подземных вод — Сб. «Итоги науки и техники» Сер. «Гидрогеология, инженерная геология», т. 3. М., 1974, с. 5—148.
3. Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М., «Недра», 1972, с. 129.
4. Глазунов И. С. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию рациональных схем скважинных водозаборов при разведке подземных вод. М., «Недра», 1973, 129 с.
5. Глазунов И. С., Роговская Н. В. Методы гидрогеологических исследований и расчетов для обоснования магазинирования пресных вод. М., 1968, 137 с.
6. Госстрой СССР. СНиП II-31—74 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., Стройиздат, 1975, 150 с.
7. Колбасов О. С. Водное законодательство в СССР. М., «Юридическая литература», 1972, 216 с.
8. Ловля С. А. Взрывные работы в водозаборных скважинах. М., «Недра», 1971, 14 с.
9. Минкин Е. Л. Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М., «Недра», 1967, 124 с.
10. Минкин Е. Л. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. М., «Недра», 1972, 112 с.
11. Плотников Н. А., Сычев К. И. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод с искусственным их восполнением. М., «Недра», 1976, 154 с.
12. Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., «Недра», 1973, 296 с.
13. Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 2. М. — Л., «Недра», 1967, 360 с.
14. Сычев К. И. Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод (методические рекомендации). М., 1975, 100 с.

ГЛАВА XI

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ, ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТЕРМАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Народнохозяйственное использование минерализованных (соленных) 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 (1, 3—5, 7—12).

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 (1, 3, 7). Минеральные воды весьма разнообразны по генезису, минерализации (от пресных до высококонцентрированных рассолов), химическому составу (микрокомпонентам, газам, 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.

Подземные воды с температурой, превышающей температуру «нейтрального слоя», относят к *термальным*. На практике термальными считаются воды с температурой выше 20—37° С (4, 6—9, 12). 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 газо-

вого 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 гидрохимических 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, передко сложными гидрохимическими 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, гидрохимических, 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 под-

земных 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 минеральных, 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 водоотбором, 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. детально гл. I, § 3).

Поисково-разведочные работы — один из наиболее важных элементов в рациональном освоении месторождений минерализованных подземных вод (1, 5, 10). Их основная цель — выявление месторождений минеральных, промышленных или термальных подземных вод, изучение геолого-гидрогеологических, гидрохимических 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 работ; поиски, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка (1, 2, 5—10). В зависимости от конкретных условий рассматриваемых месторождений, степени их изученности и сложности, размеров водопотребления и других факторов в одних случаях возможно совмещение отдельных стадий (при хорошей изученности месторождения и небольшой потребности в воде), в других

(большая потребность в воде, сложные природные условия, слабая изученность территории) может потребоваться выделение дополнительных этапов (подстадий) в пределах отдельных установленных стадий проведения гидрогеологических исследований. Так, при разведке термальных вод и проектировании их промышленного освоения небольшим количеством эксплуатационных скважин в связи с весьма значительной стоимостью сооружений разведочных скважин представляется оправданным и целесообразным совмещение предварительной разведки с детальной и бурение разведочно-эксплуатационных скважин (с последующим их переводом в категорию эксплуатационных скважин). При поисковых работах на промышленные подземные воды исследования нередко проводятся в два этапа (подстадии). На первом этапе на основе материалов предшествующих исследований выявляются площади распространения промышленных вод, перспективные для проведения поисково-разведочных работ, и намечаются места заложения поисковых скважин. На втором этапе поисковой стадии выявленные площади (месторождения) изучаются с помощью бурения и опробования поисковых скважин. Цель изучения — выбор перспективных для разведки продуктивных горизонтов и участков месторождений (5, 8).

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 (особенно материалов глубокого опорного и нефтяного бурения и материалов многотомного издания «Гидрогеология СССР»), 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 100—200 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 пределах выделенных участков (обычно по категориям $C_1 + C_2$), 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 B и C_1).

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, гидрохимические и геотермические условия разведенных 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, гидрохимических и геотермальных условий и основанного подсчета эксплуатационных запасов подземных вод продуктивных горизонтов по категориям, позволяющим выделение капиталовыхложений на проектирование их эксплуатации (обычно по категориям $A + B + C_1$). Эксплуатационные запасы оцениваются общепринятыми методами (гидродинамическим, гидравлическим, моделиро-

ванием и комбинированным на основе утвержденных в ГКЗ кондиционных требований) (1, 2, 5, 6, 8—10).

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 передко 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 пластиониппелей) 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. 57. 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. 58.

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.

На точность замеров статического и динамического уровней воды оказывает влияние растворенный газ, изменение температуры воды, сопротивление движению воды в трубах. Влияние газового фактора

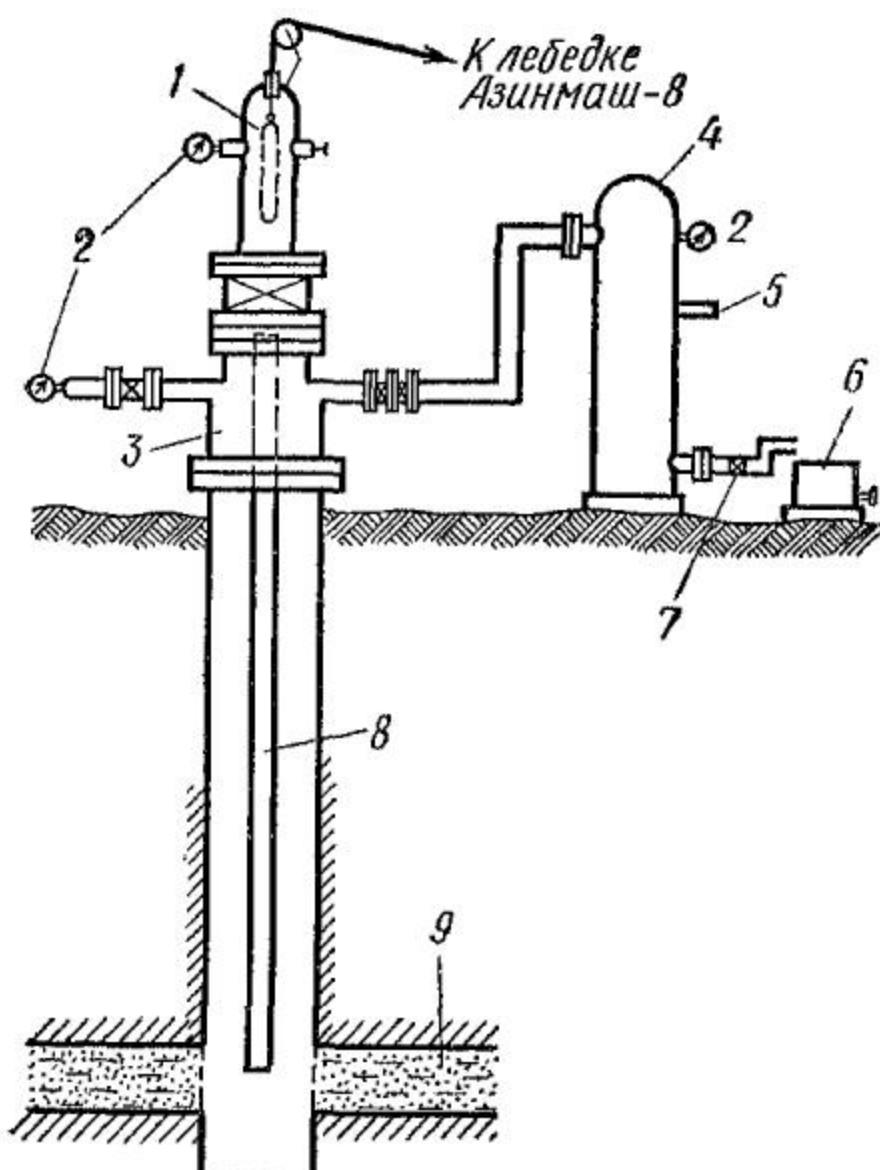


Рис. 57 Схема оборудования и опробования скважин, дающих воду самоизливом*

1 — лубрикатор, 2 — манометры; 3 — фонтанная арматура, 4 — трап газоотделителя; 5 — измеритель дебита газа; 6 — мерная емкость, 7 — задвижка; 8 — насосно компрессорные трубы, 9 — водоносный горизонт

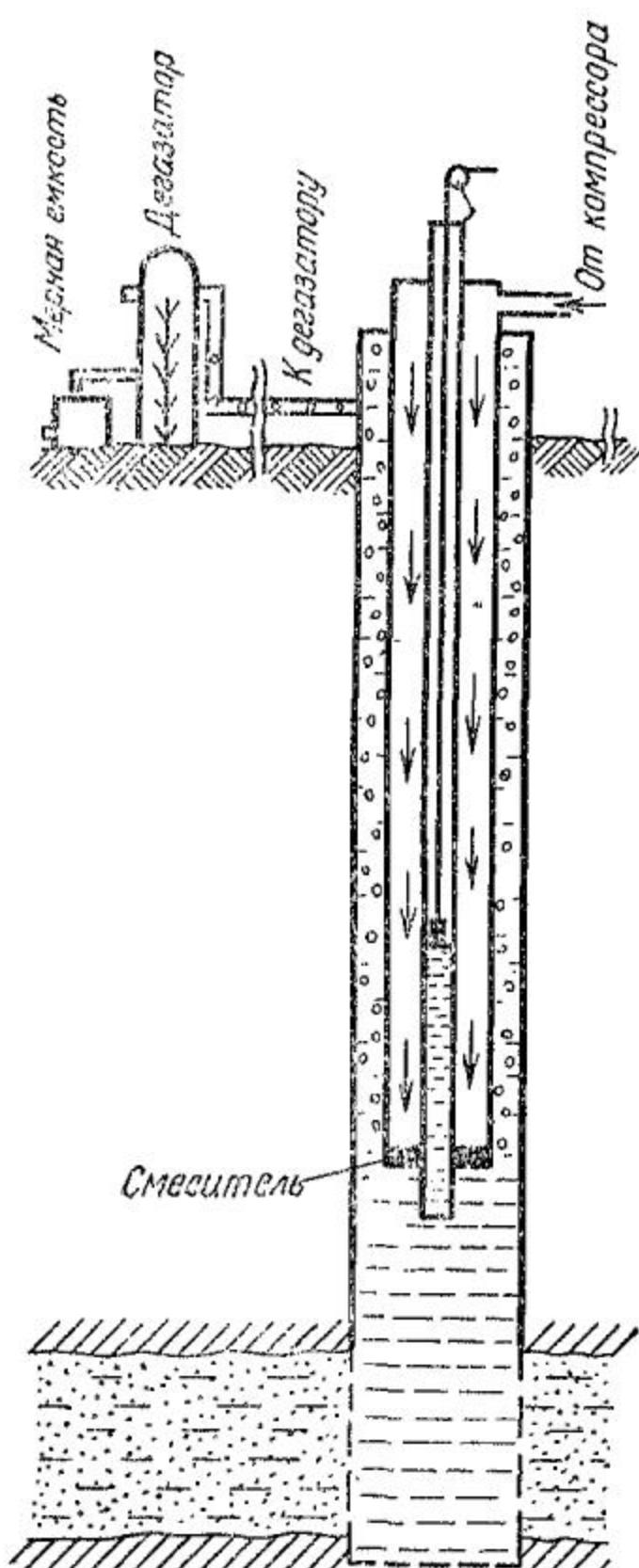


Рис. 58 Схема оборудования и опробования скважин с уровнем воды ниже устья

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 ΔS_g , 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, устьевого 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^o} при известных значениях температуры воды на устье до откачки t_0 и при изливе t_n можно определять по формуле (5).

$$\Delta S_{t^o} = \frac{H_0}{2} \left[\frac{\rho(t_0) - \rho(t_n)}{\rho(t_n)} \right], \quad (\text{XI.2})$$

где H_0 — столб воды в скважине, м; $\rho(t_0)$ и $\rho(t_n)$ — 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.35).

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

$$S_d = h_d + \frac{P_n}{\rho g} + \Delta S_r + \Delta S_{t^o} - \Delta S_n, \quad (\text{XI.3})$$

где h_d — допустимая глубина динамического уровня от устья скважины (определяется возможностями водоизмещного оборудования); P_n — избыточное над устьем скважины давление подземных вод; ΔS_r , ΔS_{t^o} и ΔS_n — поправки, учитывающие влияние газового фактора, температуры и гидравлических потерь напора и определяемые соответственно по формулам (XI.1), (XI.2) и (IV.35).

Эксплуатационная разведка проводится на эксплуатируемых или подготовленных для эксплуатации участках и месторождениях. Она имеет своей целью гидрогеологическое обоснование прироста эксплуатационных запасов и перевода их в более высокие по степени изученности категории, корректировку 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 разве-

дочные 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, гидрохимических 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 (1, 2, 5—10).

§ 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 Центральным институтом курортологии и физиотерапии и определяющие 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, радиев — 10^{-8} , радон (в единицах Махе; 1 Махе $\approx 13,5 \cdot 10^3 \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1} = 13,5 \text{ л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) — 14.

Для отнесения минеральных вод к тому или иному их типу по минерализации, содержанию биологически активных компонентов, газов и другим показателям используются критерии оценки, регламентированные ГОСТ 13273—73 (1, 3, 8). 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, радиев — $5 \cdot 10^{-7}$, уран — 0,5. Количество колоний 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 геолого-промышленной оценке их месторождений.

Минеральные воды СССР представлены всеми основными их типами: углекислыми, сероводородными, углекисло-сероводородными, радоновыми, иодными, бромными, железистыми, мышьяковистыми, кислыми, слабоминерализованными, термальными, а также неспецифическими и рассольными минеральными водами. 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) (1, 3, 7, 8).

Для разведки представляет определенный интерес типизация месторождений по геолого-структурным и гидрогеологическим их условиям. По этим признакам выделяется 6 характерных типов месторождений минеральных вод: 1) пластовые месторождения платформенных артезианских бассейнов, 2) пластовые месторождения предгорных и межгорных артезианских бассейнов и артезианских склонов, 3) месторождения артезианских бассейнов и склонов, связанные с зонами разгрузки глубинных минеральных вод в вышележащие напорные водоносные горизонты («гидроинжекционный» тип), 4) месторождения трещинно-жильных водонапорных систем, 5) месторождения, приуроченные к зонам разгрузки напорных потоков в бассейне грунтовых вод («гидроинжекционный» тип), 6) месторождения грунтовых минеральных вод (1, 2).

Месторождения первых двух типов характеризуются относительно простыми гидрогеологическими и гидрохимическими условиями, значительными избыточными напорами и естественными запасами. 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.

Гораздо более сложными гидрогеологическими и гидрохимическими условиями отличаются месторождения остальных типов и особенно третьего, пятого и шестого. Для них свойствены ограниченные площади развития минеральных вод (типа куполов), изменчивость границ, запасов и химического состава во времени и при откатах, ограниченность эксплуатационных запасов. Для выделения участков под разведку помимо всестороннего анализа региональных материалов передко 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 разведаются бурением скважин по разведочным створам и специальными площадными съемочными работами. В силу значительной неустойчивости химического состава и зависимости эксплуатационных запасов от геолого-тектонических и геотермических условий поступления минеральной составляющей и формирования купола минеральных вод оценка их осуществляется преимущественно гидравлическим методом, перспективно применение метода моделирования.

Детально вопросы методики гидрогеологических исследований выделенных типов месторождений минеральных вод рассмотрены в специальной методической литературе (1, 2, 8). В работе Г. С. Вартаняна (2) особо освещена методика поисков и разведки месторождений минеральных вод в трещинных массивах с детальной их

тилизацией и анализом особенностей изучения каждого из выделенных типов месторождений.

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), иodo-бромных (иода не менее 10, брома не менее 200 мг/л), иodo-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, галоидопоглощение должно быть не выше 80 мг/л, щелочность воды — не более 10—90 молей/л.

Ведутся соответствующие исследования по изучению условий извлечения из подземных вод некоторых других промышленно ценных компонентов: бора, лития, стронция, калия, магния, цезия, рубидия, германия и др.

Указанные выше 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, устанавливаются 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 , Mg(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 энгегерциальных 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 (5, 6). В настоящее время под руководством сотрудников института ВСЕГИНГЕО составляются карты региональной оценки эксплуатационных и прогнозных запасов 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 выдержаных продуктивных горизонтов, и 2) месторождения, приуроченные к водоносным единицам горноскладчатых областей, характеризующиеся наличием сложноподс轮廓ированных 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 водоносной 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 выше 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 последующему их опробованию 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 гидро-

геологических 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 (5).

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 напряжениях 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 пласти и поддержанием в них необходимого пластового давления представляется наиболее выгодным. При этом паряду 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 предприятиями вод, создаются возможности существенного увеличения эксплуатационных запасов и более полной сработка 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 пласти иекондиционных вод (с обязательным

учетом влияния неоднородности коллекторских свойств), 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 37°C (на практике нередко учитывают и воды с температурой более 20°C). Подземные воды с температурой выше 100°C относят к парогидротермам (8—10).

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 парнико-тепличном хозяйстве, в бальнеологии и т. д. (4, 6, 9). Перспективы использования термальных вод на территории СССР нашли отражение на схематической карте, представленной на рис. 7 (см. гл. II).

По предварительным подсчетам (4) прогнозные запасы термальных вод (до глубины залегания 3500 м) на территории СССР составляют 19 750 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$, а эксплуатационные — 7900 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$. С увеличением глубин бурения скважин на термальные воды может существенно возрасти их теплоэнергетический потенциал.

Для разведки и оценки эксплуатационных запасов месторождения термальных вод могут быть типизированы следующим образом. 1) месторождения артезианских бассейнов платформенного типа, 2) месторождения артезианских бассейнов предгорных прогибов и межгорных впадин, 3) месторождения трещинных систем извержен-

ных и метаморфических пород, 4) месторождения трещинных систем вулканических и вулканогенно-осадочных пород.

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.

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 вышележащих подземных вод. Поэтому на стадии поисков здесь целесообразны крупномасштабная структурно-гидрологическая 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, совмещенным с предварительной разведкой 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.

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 парагидротерм (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).

К специфическим вопросам, требующим своего решения приоценке 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 областей питания и разгрузки подземных вод.

Детально вопросы поисков, разведки и геолого-промышленной оценки месторождений термальных вод рассмотрены в руководствах (6, 8—10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вартанян Г. С., Яроцкий Л. А. Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод (методическое руководство). М., «Недра», 1972, 127 с.
2. Вартанян Г. С. Поиски и разведка месторождений минеральных вод в трещинных массивах. М., «Недра», 1973, 96 с.
3. Воды минеральные питьевые, лечебные и лечебно-столовые. ГОСТ 13273—73. М., Стандартгиз, 1975, 33 с.
4. Дворов И. М. Глубинное тепло Земли. М., «Наука», 1972, 206 с.
5. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод (методическое пособие). М., «Недра», 1971, 244 с.
6. Маврицкий Б. Ф., Антоненко Г. К. Опыт исследования, разведки и использования в практических целях термальных вод в СССР и за рубежом. М., «Недра», 1967, 178 с.
7. Овчинников А. М. Минеральные воды. Изд. 2-е. М., Госснолтехиздат, 1963, 375 с.
8. Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 1. Л., «Недра», 1967, 592 с.
9. Фролов Н. М. Гидрогеотермия. М., «Недра», 1968, 316 с.
10. Фролов Н. М., Язвин Л. С. Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов термальных вод. М., 1969, 176 с.
11. Швец В. М. Органические вещества подземных вод. М., «Недра», 1973, 192 с.
12. Щербаков А. В. Геохимия термальных вод. М., «Наука», 1968, 234 с.

ГЛАВА XII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ОРОШЕНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

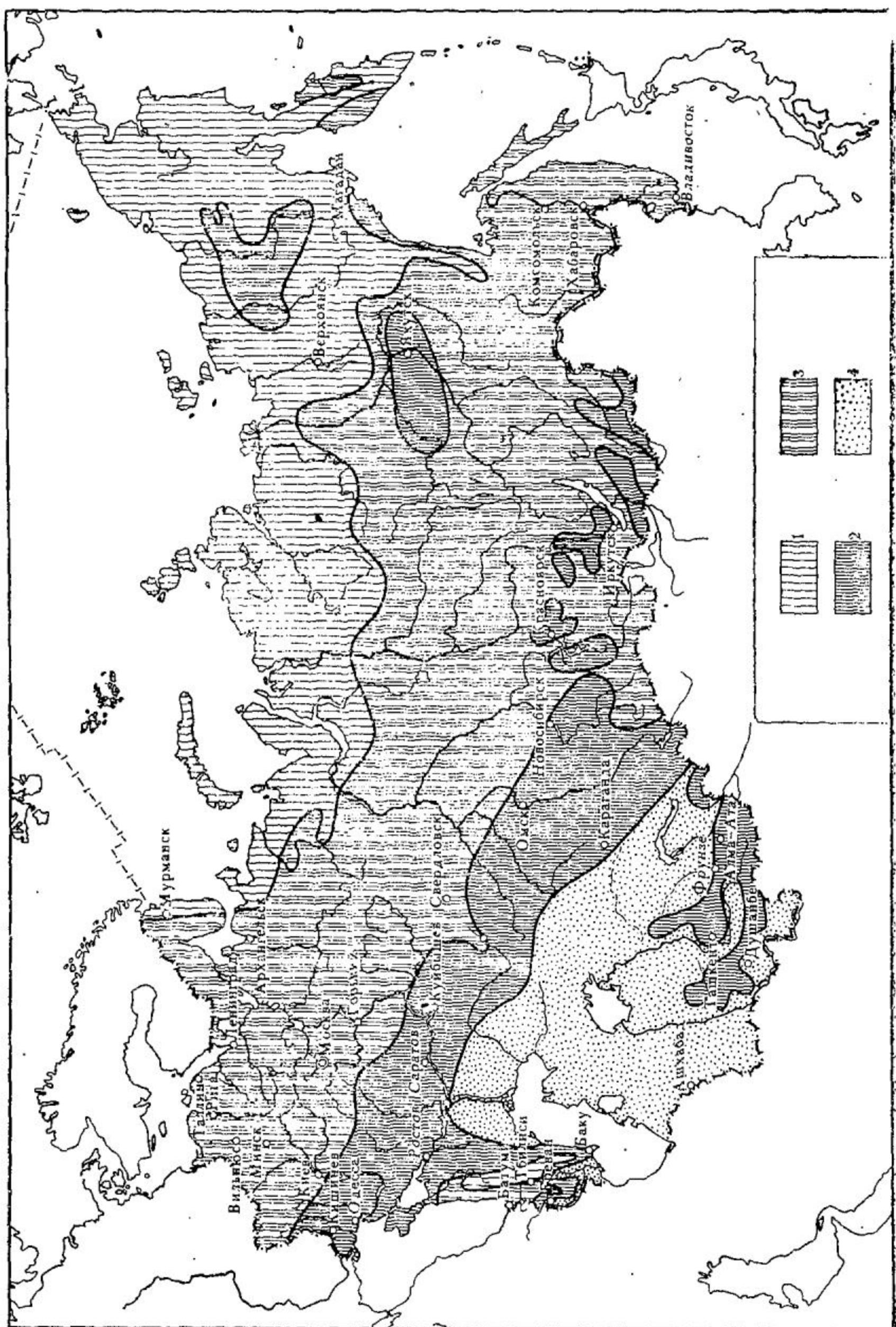
Мелиорация сельскохозяйственных земель, основными задачами которой являются коренное улучшение плодородия земель, повышение их урожайности и устойчивый подъем сельскохозяйственного производства, рассматривается в нашей стране как основа научно-технической революции в сельском хозяйстве. Вопросы мелиорации и, в частности, развитие орошаемого земледелия — предмет особой заботы партии и правительства с первых дней Советской власти. Грандиозная программа мелиоративного и гидротехнического строительства, намеченная Директивами XXIII съезда КПСС и решениями майского Пленума ЦК КПСС (1966 г.), получила дальнейшее развитие и подтверждение в решениях XXIV и XXV съездов КПСС и намеченных ими планах развития народного хозяйства СССР (1).

Общую площадь мелиорированных в нашей стране земель к 1985 г. предполагается довести примерно до 48 млн. га, в том числе орошаемых — до 21 млн. га. Перспективные для мелиорации площади превышают 250 млн. га (5). За истекшее десятилетие (1965—1975 гг.) площадь мелиорированных в стране земель возросла в 1,9 раза и составила более 25 млн. га (в том числе орошаемых 14,5 млн. га). В десятой пятилетке прирост орошаемых земель составит 4,0, осушаемых — 4,7 млн. га.

Огромные масштабы мелиоративных работ предстоит выполнить в ближайшие годы в нечерноземной зоне РСФСР, в Поволжье, Полесье, Казахстане, Молдавии, Средней Азии, на Украине, Северном Кавказе и других районах страны (1).

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 увлажнения (рис. 59). 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 гидрологическим 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 гидрологического обоснования проектов систем орошения.

Если сейчас ежегодный расход воды на орошение превышает 150 км³, то в перспективе на 1985 и 2000 годы потребность сельского хозяйства в воде значительно возрастет. Орошение в нашей стране осуществляется в основном за счет поверхностных вод (доля подземных вод не превышает 3%), но во многих районах страны имеются благоприятные возможности использования для орошения пресных и слабоминерализованных подземных вод, а также их искусственного пополнения и регулирования для целей 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 зеркала 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 гидрологическое обоснование дренажных сооружений. На это было обращено особое внимание на состоявшемся в 1975 г. в Москве IX Международном конгрессе по ирригации и дренажу. На конгрессе, в частности, была подчеркнута огромная роль и эффективность орошения: все орошаемые на земном шаре площади (около 235 млн. га) обеспечивают получение более 50% сельскохозяйственной продукции, хотя их доля в общем количестве используемых сельскохозяйственных земель не превышает 16%.

Таким образом, при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации систем орошения возникает необходимость в научном гидрологическом обосновании важнейших задач, начиная от перспективного планирования мелиоративных мероприятий и кончая квалифицированным гидрологическим обслуживанием действующих систем орошения. Для обеспечения успешного решения поставленных задач необходимы определенные гидрологические исследования, среди которых особая роль отводится обоснованию проектов строительства оросительных систем.

Рис. 59 Схема районирования территории СССР по степени увлажнения.

1 — зона избыточного увлажнения, 2 — зона недостаточного увлажнения, 3 — зона достаточного увлажнения, 4 — засушливая зона

§ 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) выбора объектов для первоочередного сельскохозяйственного освоения; 3) изучения геолого-гидрогеологических условий предназначенных для мелиоративного освоения территорий как необходимой основы и 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 «Гид-

рогеология 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 первоочередных 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 СУСНи) 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 (7) проектирование мелиоративного строительства осуществляется в две — технический проект и рабочие чертежи или в одну стадию — технический проект, совмещенный с рабочими чертежами.

Состав и объем исследований (изысканий), выполняемых для обоснования проектов мелиоративного строительства, зависит от характера проектируемых сооружений, размеров предназначе-

ной 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.

Технический проект. Для обоснования технического проекта 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 технического 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 орошающей 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 комп-

лексов, 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 (7).

Рабочие чертежи. На 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, дрена, водозаборных и регулирующих сооружений и т. д.) и возникающих в процессе проектирования.

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 внесения 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 (4, 6, 7, 10).

§ 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 требованиям, определяемым спецификой мелиоративного строительства. В полной мере эти требования освещены в действующем методическом руководстве (7).

При проведении съемки для целей мелиорации особо тщательному изучению подлежат: 1) морфогенетические типы рельефа, их отдельные элементы, уклоны, микрорельеф и связь их с геотектоникой, 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 водонасыщен-

ной 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. (4, 6, 7, 10).

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 (7).

В результате съемочных работ масштаба 1·200 000 к огчесту 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, солового состава и степени засоления пород зоны аэрации и водного питания болот (для гумидной зоны).

Гидрогеологические исследования по изучению режима, водного и солового 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 водоподъемных горизонтов с обязательным количественным определением элементов водного и солового 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 залегания 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 орошающего массива в целом. Для районов вторичного засоления должен быть дополнительно изучен соловой баланс (грунтовых вод, зоны аэрации и общий) с раздельным определением каждого из элементов баланса.

Фильтрационные свойства пород зоны аэрации и насыщения должны быть изучены применительно к установленной схеме их строения с достоверностью не ниже 0,7—0,8 (при многослойном разрезе достоверность изучения нижних слоев допускается до 0,3—0,4). При этом используются известные методы — откачки, наливы, экспресс-методы, наблюдения за режимом, лаборатор-

ные работы, моделирование (см. детально 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). Изучением параметров водо-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 подземными напорными водами, достоверно установлена расчетная схема действия дренажа и обоснован прогноз условий 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 (6, 7). 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. 60, табл. 4), которые по сложности гидрогеологических условий для целей мелиораций объединены в следующие три группы (см. табл. 4).

Первая группа — районы со сравнительно простыми гидрогеологическими условиями. Характеризуются интенсивной естественной дренированностью земель с устойчиво глубоким залегани-

ем 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 единичных 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. 60 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 ис-

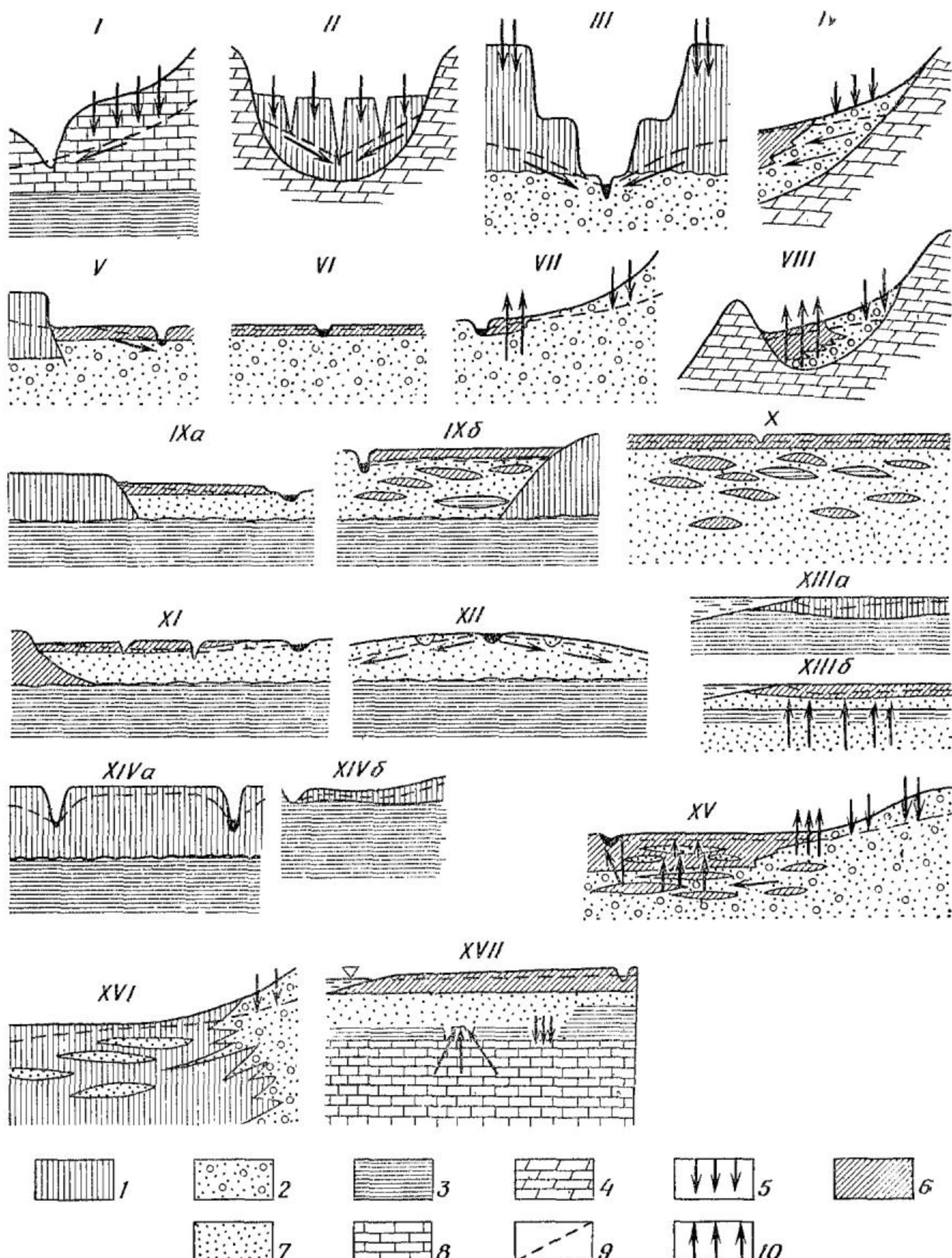


Рис. 60 Типы гидрологических условий (I—XVII) орошаемых районов СССР (по Д. М. Кацу)

1 — суглинки, супеси преимущественно лессовидные, 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

следований в пределах выделенных типовых районов рассмотрена в руководствах (6, 7)

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 (7). Ниже кратко освещены особенности съемочных работ и стационарных наблюдений как основных видов специализированного изучения и оценки мелиорируемых терриглий.

Орошение, как известно, вызывает серьезные изменения сложившегося в естественных условиях водносолового 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 ли фильтрации 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

Таблица 4

Группы	Типы гидрогеологических условий	Геоморфологические условия	Характер подземных вод, формы связи грунтовых вод с напорными	Преследующие зоны естественной дренированности
Первая	Сравнительно простые гидрогеологические условия	I Горные склоны и равнины, сложенные трещиноватыми дочеревтическими породами II Глубоко расщепленные предгорные равнины III Верхние (древние) глубоко расщепленные аллювиальные террасы IV. Верхние привершинные галечниковые части конусов выноса рек, предгорные шлейфы	Грунтовые воды трещинного типа Грунтовые воды Примущественно грунтовые воды Грунтовые воды	Интенсивно дренированная То же » »
Вторая	Гидрогеологические условия средней сложности	V Нижние и средние террасы, сложенные галечниками в межгорных впадинах VI Верхние части субаэральных дельт, сложенные галечниками VII Несовершенные конуса выноса VIII Межадырные впадины	To же » Грунтовые воды и единые водоносные комплексы грунтовых и напорных вод To же	Дренированная Слабо дренированная, реже дренированная Дренированная »
Третья	Сложные гидрогеологические условия	IX. Средние и верхние аллювиальные террасы на платформенных равнинах X. Субаэральные дельты рек на платформенных равнинах	Грунтовые воды To же	Слабо дренированная и весьма слабодренированная 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 выноса, образующие слабоволнистую предгорную равнину со скрытой и растянутой зоной выклинивания минерализованных подземных вод	То же	Весьма слабо дренированная и бессточная в подрайонах б и в
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)	Весьма слабо дренированная и бессточная

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, по невысокую ее достоверность и надежность. При съемке масштаба $1:50\,000$ преимущественно 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 проекции 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 собой 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, когда не все еще выяснено в достаточной степени, наблюдательная сеть может быть разреженной, а часть наблюдательных скважин временной. Размещение наблюдательной сети (для наблюдений могут быть оборудованы и разведочные скважины) должно обеспечивать выявление как региональных закономерностей естественного режима подземных вод в различных геоморфологических и гидрологических условиях, так и локальных (в зоне каналов, орошаемых массивов, дрен, 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 гидрогеологических станций), 2) внутрихозяйственная наблюдательная сеть управлений оросительных и обводнительных систем; 3) временная наблюдательная сеть различных величин. 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. Детальное изложение принципов размещения наблюдательных сетей и методики изучения режима подземных вод и водносолового баланса орошаемых территорий с учетом их природных особенностей приведено в методическом руководстве (7).

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 высасывающихся подземных вод; изучение элементов баланса подземных вод (инфилтрации 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 дрены и др.) и элементов солового 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 типич-

Таблица 5

№ п.п	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 гидрологических районах 2 Изучение элементов баланса грунтовых вод и зависимости их от состава пород и мощности зоны аэрации, метеорологических условий и других факторов в основных гидрологических районах 3. Фиксация многолетних изменений нарушенного и естественного режима подземных вод 4 Прогноз режима подземных вод	Наблюдательная сеть размещается на основе гидрологического районирования территории применительно к требованиям орошения и обводнения	
<i>Временная наблюдательная сеть, оборудуемая в связи с проектированием и переустройством оросительных и обводнительных систем</i>		
1. Размещение сельскохозяйственных культур и обоснование режима их орошения 2. Прогноз режима подземных вод 3 Определение гидрологических параметров пластов, необходимых для прогноза режима, проектирования дренажных и водозаборных сооружений 4 Приведение к одному сроку разновременных данных гидрологической съемки 5 Расчеты баланса грунтовых вод и солевого баланса 6 Изучение влияния оросительных и обводнительных каналов и дрениажа на режим подземных вод	Размещение наблюдательной сети определяется принятой методикой решения поставленных задач	
<i>Внутрихозяйственная наблюдательная сеть управлений оросительных и обводнительных систем</i>		
1. Корректирование норм влагозарядковых, всесторонних 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 дрениажных каналов, водохранилищ и других сооружений 5 Прогнозы режима грунтовых вод на площади оросительных и обводнительных систем и в хозяйствах	Равномерное покрытие наблюдательной сетью всей территории орошаемых и обводняемых земель (исключая п. 4, когда сеть размещается в соответствии с принятой методикой наблюдений)	

№ пп.	Задачи, решаемые на основе изучения режима подземных вод	Принципы размещения наблю- дательной сети
6.	Контроль за охраной подземных вод, используемых для орошения и обводнения, от загрязнения и истощения	

ных 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; они детально рассмотрены в работах (6, 7—10).

Как уже отмечалось выше, региональная сеть гидрогеологических партий, с помощью которой 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.

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 различающихся 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 (7, 9).

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, дрен и поверхностных водотоков.

Изучение общего водного баланса и баланса грунтовых вод, необходимое для прогнозов режима грунтовых вод, обоснования проектов дrenажа и других мелиоративных мероприятий и оценки их эффективности, осуществляется как в процессе проектирования систем орошения, так и при их эксплуатации. На массивах проксируемого 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. детально 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 технического 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, солевой баланс целесообразно определять общий, почв и пород зоны аэрации и подземных вод. Общие принципы организации и проведения водобалансовых работ на разных стадиях проектирования орошения и при эксплуатации оросительных систем применимы и при изучении солевого баланса (см. детально гл. V, § 3 и работы 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 (поливы, осадки, приток, отток, импульсивизация, 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 водобалансовым 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.

Общие вопросы методики изучения режима и баланса подземных вод рассмотрены в гл. V и специальных работах (4, 6, 7, 10).

§ 3. Гидрогеологические исследования в связи с использованием подземных вод для орошения

Основным источником орошения в нашей стране являются в настоящее время поверхности воды. За счет использования подземных вод орошаются не более 3% всех орощаемых 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 орошающего 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, искусенному 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.

Использование подземных вод для орошения (как грунтовых, так и напорных) способствует усилению их питания за счет более интенсивного пополнения привлекаемым поверхностным стоком, сокращению расхода подземных вод на испарение на площадях неглубокого залегания уровня грунтовых вод, ликвидации процессов вторичного засоления и улучшению гидромелиоративных условий орощаемых территорий, обеспечивает более высокие темпы ввода орощаемых земель и другие преимущества. Это подтверждено многолетним опытом использования подземных вод для орошения в таких странах, как Индия, США, Пакистан, Иран и др., где площади орощаемых подземными водами земель составляют 30—40%, а также в отдельных республиках нашей страны (Азербайджан, Армения, Украина, Узбекистан, Туркмения), в которых для целей орошения используется от 15 до 60% общего количества отбираемых подземных вод. Затраты на строительство и эксплуатацию систем орошения с подземными источниками питания оказываются эквивалентными затратам для систем с поверхностными источниками орошения, а передко 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 (7).

Весьма перспективным представляется совместное использование для орошения поверхностных и подземных вод. В отдельных районах может оказаться целесообразным искусственное пополнение запасов подземных вод в многоводные или влажные годы и сработка их для орошения в годы сухие и маловодные.

Сопоставление эксплуатационных ресурсов подземных вод с потребностью отдельных районов в воде свидетельствует о значительных возможностях развития орошающего земледелия за счет использования подземных вод. Предварительные исследования показывают, что уже установленные запасы подземных вод позволяют организовать орошение на площади около 6 млн. га сельскохозяйственных земель, в том числе на перспективу к 1980 г. не менее 2 млн. га. При этом на многих орошаемых площадях отбор большого количества подземных вод наряду с обеспечением сельскохозяйственного водопотребления будет способствовать установлению благоприятного водносолевого режима и мелиоративного состояния орошаемых земель.

Гидрогеологические исследования по изучению подземных вод и их оценке как возможных источников орошения предусматриваются обычно в общем комплексе работ, выполняемых для обоснования проектов строительства оросительных систем, особенно если предполагается сооружение вертикального дренажа и подземные воды рассматриваются как дополнительный источник для целей орошения. 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 могут осуществляться самостоятельно с соблюдением стадийности их проведения, установленной для поисков и разведки месторождений подземных вод (см. детально гл. IX).

Как правило, выполняемые 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 ана-

логичными изложенными 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 (4, 6, 7, 10).

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 большой 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 несколько больше. В частности, опытами Узбекского научно-исследовательского института хлопководства доказана возможность использования для орошения дренажных вод с минерализацией 4—6 г/л без заметного снижения урожайности хлопка, в Тунисе на хорошо сдrenированных массивах используются воды с минерализацией 7 г/л. Интересны исследования И. Н. Баскаченко (2), установившего возможность и высокую экономическую целесообразность использования для удобрительного орошения минерализованных подземных вод (с минерализацией до 10—15 г/л и более).

Для ориентировочной оценки качества подземных вод по данным химических анализов пользуются величиной *ирригационного коэффициента* K_{irr} , зависящего от щелочности воды и вычисляемого по эмпирическим формулам (4, 6, 10). Пригодной для орошения считается вода с ирригационным коэффициентом более 1,2.

Опасность осолонцевания 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-Каратееву).

При использовании содовых вод (содержащих гидрокарбонаты и карбонаты натрия) опасность осолонцевания увеличивается, поэтому для улучшения их качества применяют *гипсование*, обеспечивающее перевод вредных солей Na_2CO_3 в менее вредные Na_2SO_4 (этот прием известен как *химическая мелиорация почв*).

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—73 «Вода питьевая».

Для оценки возможного агрессивного воздействия подземных вод на бетонные и металлические сооружения оросительных систем определяют различные виды их агрессивности (общекислотную, сульфатную, углекислую, магниевую, выщелачивания), величину pH, газовый состав вод, наличие органики и т. д.

Особенности проведения гидрогеологических исследований. Как уже отмечалось выше, 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 эксплуатационных 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, отплительные и другие виды поливов в вегетационный и невегетационный периоды года. Нередко оказывается вполне допустимым реальный прерывистый режим эксплуатации подземных вод заменять при расчетах непрерывным, используя в качестве расчетной производительности водозабора его среднегодовую производительность. 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

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, 256 с
2. Баскаченко И. Н. Использование природных минерализованных вод в сельском хозяйстве. М., «Колос», 1975, 184 с.
3. Булдей В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем. Киев, «Наукова думка», 1973, 198 с.
4. Жернов И. Е., Солдак А. Г., Кущ П. Ю., Гриза О. О. Мелиоративная гидрогеология. Киев, «Вища школа», 1972, 332 с.
5. Зузик Д. Т. Экономика водного хозяйства. М., «Колос», 1973, 399 с.
6. Кац Д. М. Гидрогеология. М., «Колос», 1969, 320 с.
7. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. М., 1972, вып. 1—3. 466 с.
8. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии (методическое руководство). М., «Недра», 1972, 296 с.
9. Принципы размещения сети гидрогеологических наблюдательных пунктов в естественных и нарушенных условиях. М., «Недра», 1974, 88 с.
10. Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 2, Л., «Недра», 1967, 592 с.

Глава XIII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ОСУШЕНИЕМ ЗЕМЕЛЬ

В нашей стране разработана и последовательно осуществляется грандиозная программа развития мелиоративных работ, в соответствии с которой намечается продолжить в широких масштабах мелиорацию земель. Предусмотрено уже к 1980 г. ввести в эксплуатацию 4 млн. га орошаемых земель и осушить 4,7 млн. га земель (1).

Осушительные мелиорации, как известно, осуществляются в основном в зонах избыточного и достаточного увлажнения (см. рис. 59) 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 осущеных 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 (4).

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.

Показательным примером долговременной программы комплексного осуществления мелиораций является нечерноземная зона РСФСР с площадью земельных угодий 52 млн. га. За период 1975—1990 гг. здесь предусмотрено осушить 9—10 млн. га. (преимущественно с использованием закрытого дренажа), оросить 2—2,5 млн. га земель, провести известкование почв на площади 23 млн. га и культурно-технические работы на 8—10 млн. га полей, построить мелиоративные системы вокруг крупных городов и промышленных центров, осуществить другие мелиоративные работы.

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 проекти-

рования 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 гидрогеологомелиоративного 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 персувлажненных 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, геолого-структурным, морфогенетическим, гидрогеологическим (дренированность, взаимосвязь грунтовых и напорных вод, глубина залегания, режим увлажнения), инженерно-геологическим, литологическим и другим условиям выделяются провинции, подпровинции, области, подобласти, районы, подрайоны и участки (2, 6, 7). Районирование — основа для оценки технико-экономических условий и очередности осушения земель.

Исследования для обоснования проектирования систем осушения проводятся в одну (технорабочий проект) или две стадии (технический проект и рабочие чертежи). Проектирование в одну стадию выполняется для осушения массивов небольшой площади (менее 500 га).

Исследования для обоснования проектирования осушения на стадии технического проекта осуществляются в пределах территории 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), разведочных 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. Даётся 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 водо-солевого баланса грунтовых вод и оседания поверхности торфяников в связи с осушением. Все стороны 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 рабочих чертежей гидрогеологические и другие виды исследований выполняются для уточнения отдельных вопросов гео-

логического 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 (7).

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, осуществлявшимся 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 (2, 5—8) 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 и по условиям их водного питания и площадей распространения выявлению фильтрационных свойств избыточно увлажненных почв, торфяников и имеющихся с ними взаимосвязь водоносных горизонтов, а также получению 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 (7).

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 водо-минеральном питании переувлажненных земель, способствует обоснованному определению состава и методики гидрогеологических исследований и необходимых для освоения земель мелиоративных мероприятий и способов их осуществления (6, 7).

По характеру геологического строения и литологическим особенностям покровных отложений (в слое толщиной до 2—3 м) выделяются пять типовых схем разреза переувлажненных земель (рис. 61):

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. 61, схема I_a, II_a); 2) в водном питании принимают участие только грунтовые воды, формирующиеся в пределах переувлажненных массивов и на ближайшей их периферии (рис. 61, схемы I_b, I_c, II_b, II_c, III_c); 3) в водном питании земель принимают участие 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 уровня грунтовых вод и пьезометрических уровней нижележащих напорных вод. Возможны три схемы их соотношения (взаимосвязи): 1) пьезометрические уровни постоянно залегают выше уровня грунтовых вод; 2) уровни совпадают и 3) уровни грунтовых вод расположены выше пьезометрической поверхности нижележащего напорного горизонта. В первом случае осушаемые породы подпи-

тываются снизу напорными водами, во втором — наблюдается неустойчивое равновесие, нарушающееся под влиянием естественных или искусственных факторов (при дренаже схема становится адекватной первой схеме), 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.).

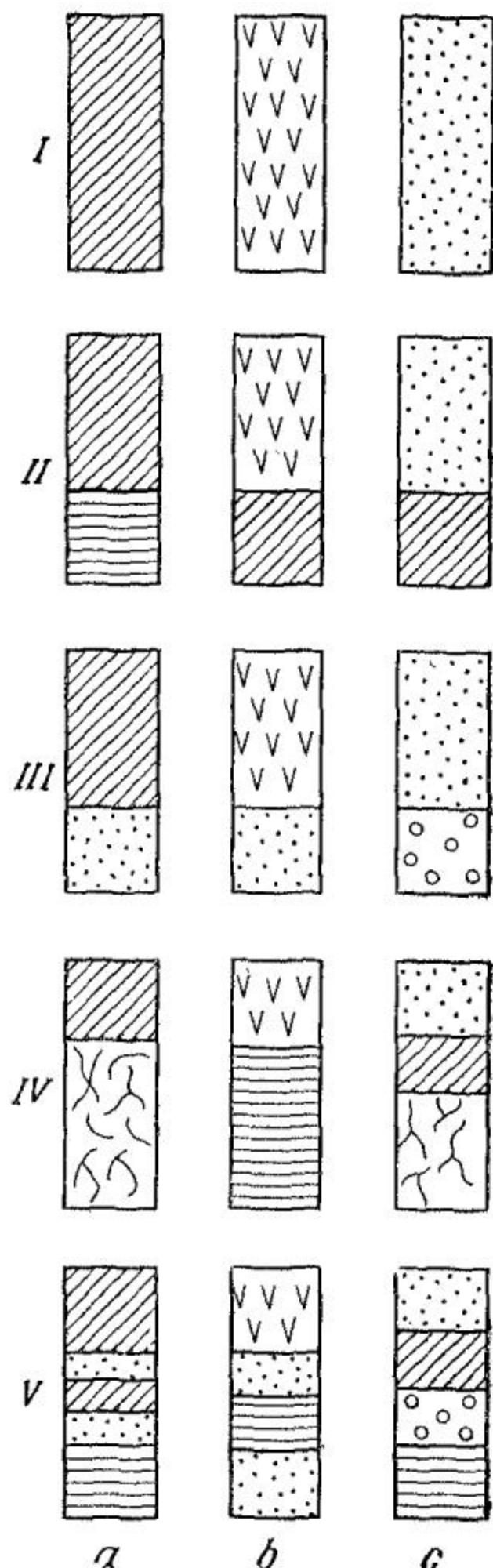


Рис. 61. Основные типовые схемы (I—V) геологического строения осушаемых земель

В зависимости от геологического стро-

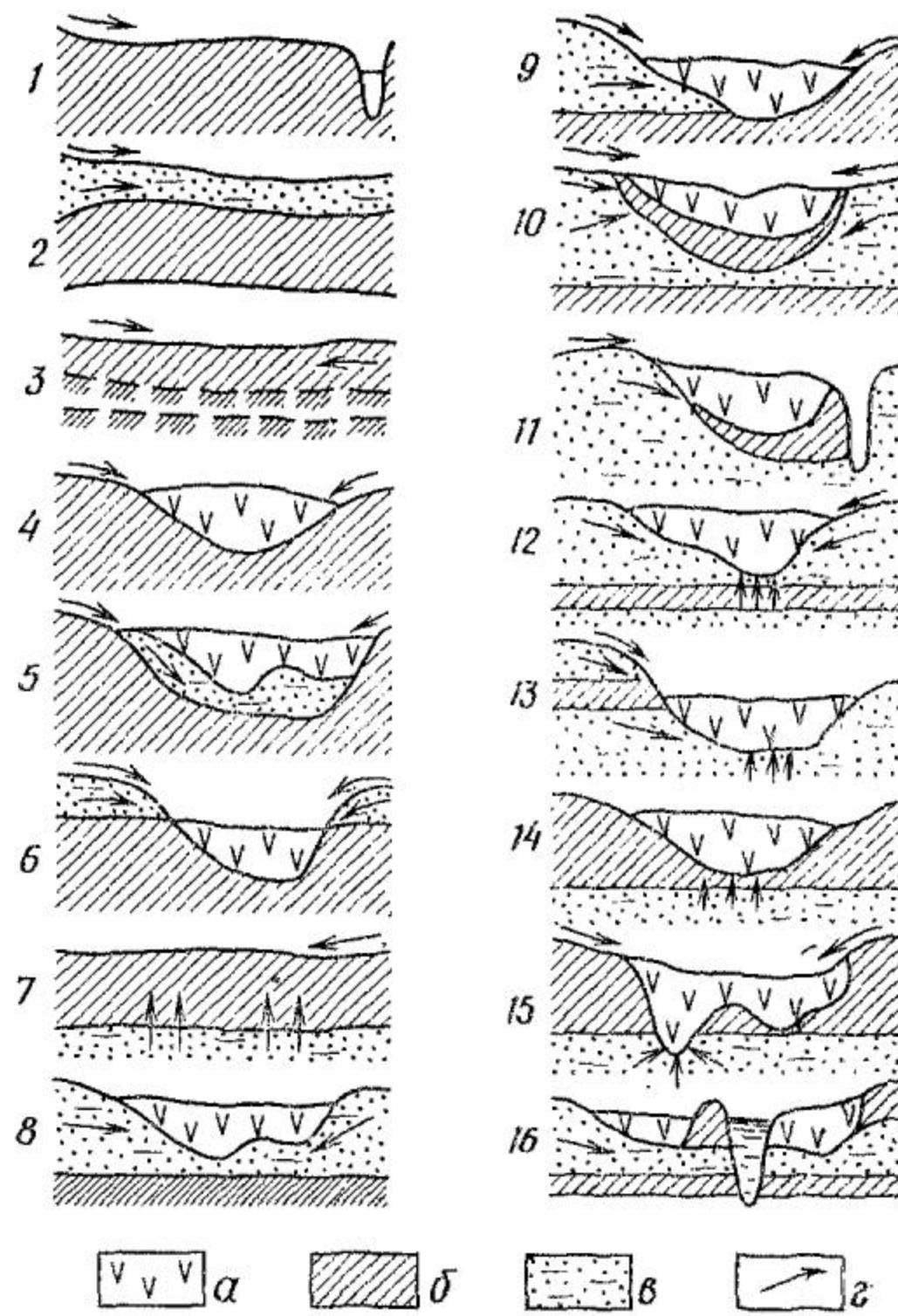


Рис. 62. Типы (1—16) гидрогеологических условий осушаемых земель:

a — торф; *b* — суглинок (глина); *c* — песок (суспесь, гравий), трещиноватые скальные породы; *g* — направление движения поверхностных и подземных вод.

ния, характера, 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, детализированная 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 равнинах	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, отображенными на рис. 62 и детально охарактеризованным в руководстве (7).

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. 62) 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. 62) заключается в следующем (2, 5, 7).

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, шурfov) 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 скрытой напорностью и капиллярным переувлажнением покровных пород тяжелого механического состава. Чтобы отнес-

ти 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 проходят только на склоне, сложенном проницаемыми породами. При 10-м типе с особой тщательностью исследуется зона пулевых 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 окоптупиваются 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 (2, 7).

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 информации, получаемой 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 (7).

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 водопосных 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 паряду с наземным маршрутым 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 за-

кладывается 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, 7).

В результате дешифрования 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, 7).

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 (2, 7).

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 (2, 7, 8), а также в гл. V, § 2, где отмечено, что пункты наблюдательных сетей размещаются по результатам гидрогеологомелиоративного районирования, характеру предполагаемых для решения задач и граничным условиям объектов наблюдений. Например, при региональном изучении режима каждый гидрогеологомелиоративный район должен быть охарактеризован как минимум одной скважиной (редко 10 и более скважин) с оборудованием одного-двух водомерных постов в районах водотоков. На болоте кусты скважин оборудуются как минимум у бортов, в середине болота, вблизи водотока или водоема (рис. 63).

Специальная гидромелиоративная сеть оборудуется в виде стволов, расположенных перпендикулярно к регулирующим частям осушительной системы (дренам, каналам, собираителям). Каждый 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, гидрохимические и термометрические исследования (pH , агрессивность, содержание органики, железа и др.) проводятся 2—3 раза в год.

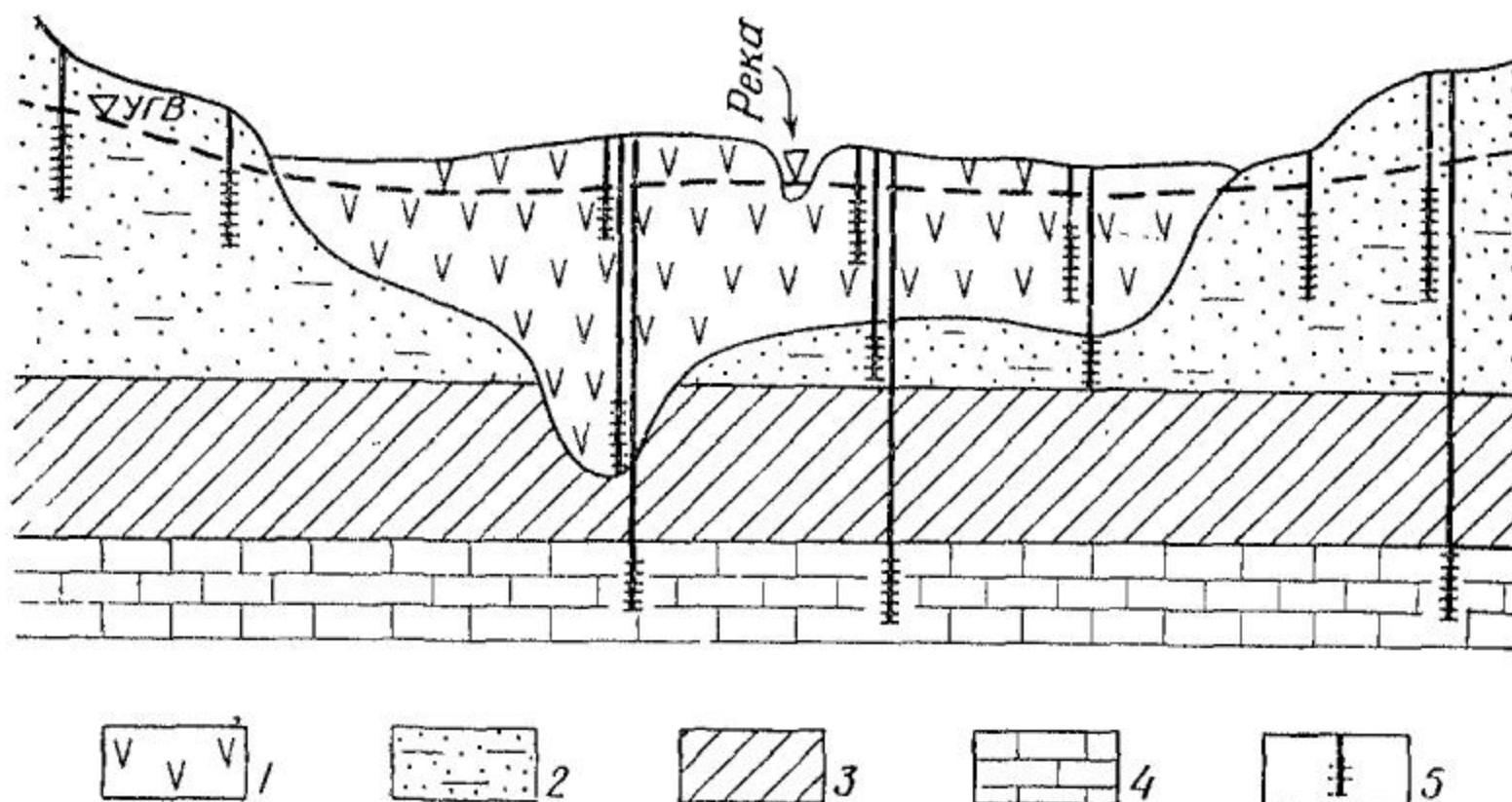


Рис. 63. Пример размещения наблюдательных скважин на болоте:
1 — торф; 2 — песок; 3 — суглинок (глина); 4 — известняк; 5 — скважина

Водный баланс осушаемых земель изучается экспериментально. Гидродинамический метод используется как вспомогательный для определения разности между притоком и оттоком грунтовых вод. Водный баланс составляется раздельно 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_g ; 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

$$\Delta W_a = \Phi_a + K_a + I_g - I_a - T - \Phi_r. \quad (\text{XIII.1})$$

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 гидографической 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 патуре: 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 (2, 7).

§ 3. Экономическая эффективность мелиораций

Вопросы определения экономической эффективности оросительных и осушительных мелиораций разработаны достаточно полно и освещены в учебно-методической литературе (4, 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, союз-

ным 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 $E_{кп}$ и обратный ему показатель — срок окупаемости капиталовложений по прибыли $T_{кп}$:

$$E_{кп} = \frac{(Ц - С)}{K} = \frac{П}{K} \text{ и } T_{кп} = \frac{K}{(Ц - С)} = \frac{K}{П}, \quad (\text{XIII.2})$$

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 $E_{дк}$, срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{дк}$ и определяемые на основе нормативных значений этих коэффициентов приведенные затраты Z_n (см. детально 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: $Z_{n,i} = \mathcal{Э}_i + E_n K_i$, которые для экономически наиболее эффективного варианта должны быть минимальными. Показатели $\mathcal{Э}_i$ (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.).

Сравниваемые варианты должны быть приведены в сопоставимый вид по всем признакам, кроме признака, эффективность которого определяется. При сравнении вариантов, различающихся временем освоения капиталовложений; затраты по варианту с более длительным сроком строительства приводятся к текущему моменту с помощью коэффициента приведения B , который определяется по формуле

$$B = \frac{1}{(1 + E_{нп})^t}, \quad (\text{XIII.3})$$

где $E_{нп}$ — норматив для приведения разновременных затрат ($E_{нп} \approx 0,08$); t — период времени приведения в годах, равный разности между годом осуществления затрат и годом, к которому они приводятся.

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, 256 с.
2. Жернов И. Е., Солдак А. Г., Кущ П. Ю., Гризи О. О. Мелиоративная гидрогеология. Киев, «Вища школа», 1972, 332 с.
3. Зузик Д. Т. Экономика водного хозяйства М., «Колос», 1973, 399 с.
4. Инструкция (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ. М., 1972, 35 с.
5. Кац Д. М. Гидрология М., «Колос», 1969, 320 с.
6. Маккаев А. А. Методическое руководство по гидрогеологическим исследованиям в зоне избыточного увлажнения в связи с осушением болот и заболоченных земель. М., «Недра», 1967, 248 с.
7. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства Вып. 1—3. М., 1972, 466 с.
8. Справочное руководство гидролога. Изд. 2-е, т. 2. Л., «Недра», 1967, 592 с.

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. Доля нефти и газа в энергетическом балансе мира составляет в настоящее время около 60%. 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. К концу 1975 г. добыча нефти в нашей стране была доведена до 491 млн. т, а газа до 289 млрд. м³ в год. Решениями XXV съезда КПСС предусмотрено довести добычу нефти, включая газовый конденсат в 1980 г. до 620—640 млн. т (1). Такие грандиозные планы ставят 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 рассеивания происходят в пористой среде, существеннейшим элементом которой являются подземные воды. Роль последних как фактора, созидающего 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 — нефтегазопоисковой и нефтегазопромысловый гидрогеологии.

Задачи нефтегазопоисковой гидрогеологии — изучение гидрогеологических условий территорий и использование гидрогеологических показателей и критерий для оценки перспектив их неф-

тегазоносности 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, 4, 6, 9, 11).

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 *нефтегазоносные бассейны подземных вод* (3, 4, 6, 9). В последние годы принято считать, что основное условие нефтегазоносности 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° С 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 (6, 9).

1. Бассейны I типа (палеозойские) располагаются в пределах платформ с древним (докембрийским) фундаментом и частично захватывают прилегающие древние краевые прогибы (Печорский, Балтийский, Днепровско-Донецкий, Прииятский, 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 однобразие 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 расположаются 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, Среднеакаспийский, Амударьинский, Ферганский, Афгано-Таджикский бассейны). Для них характерно сочетание в разрезе инфильтрационных и элизионных систем, широкое развитие паряду 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 положение занимает крупнейший в мире Западно-Сибирский нефтегазоносный 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 геологическими и литолого-фацальными 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 пласти-коллекторы. В открытых и полузакрытых системах, где обеспечиваются благоприятные условия для продвижения инфильтрационных вод по пластам-коллекторам, залежи нефти и газа оказываются разрушенными либо смешенными 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 прибрежным зонам.

Наиболее сложно и разнообразно пространственное размещение нефтегазонакоплений в пределах предгорно-равнинных (мезойских) 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 нефтегазонакоплений. 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, гидро-геохимических, 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 нефтегазопоисковой 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 стадии: 1) региональные геолого-геофизические работы; 2) подготовка площадей геолого-геофизическими методами к поисковому бурению

нию; 3) поиски месторождений (залежей) нефти и газа; 4) разведка месторождений (залежей) нефти и газа. 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 — гидрохимических, гидродинамических, общегидрогеологических, палеогидрогеологических, гидрогеотермических и др. В зависимости от назначения и характера использования в практике поисково-разведочных работ на нефть и газ гидрогеологические показатели подразделяются на следующие группы показателей: 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_g 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.), безargonного 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, йода, брома (при низком 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, уклоны и скорости потоков, положение областей питания (плановое и высотное), сохранность седиментационных вод, длительность элизионных и инфильтрационных этапов развития систем и др. Гидрохимическими 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-argonового 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).

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 нефтегазопоисковыми 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. Весьма желательно и целесообразно, чтобы в основе всех нефтегазопоисковых 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 гидрогеологи-

ческого положения и общих гидрогеологических условий рассматриваемого бассейна (4, 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 нефтегазопоисковых 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 сохранения нефти и газа. 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.

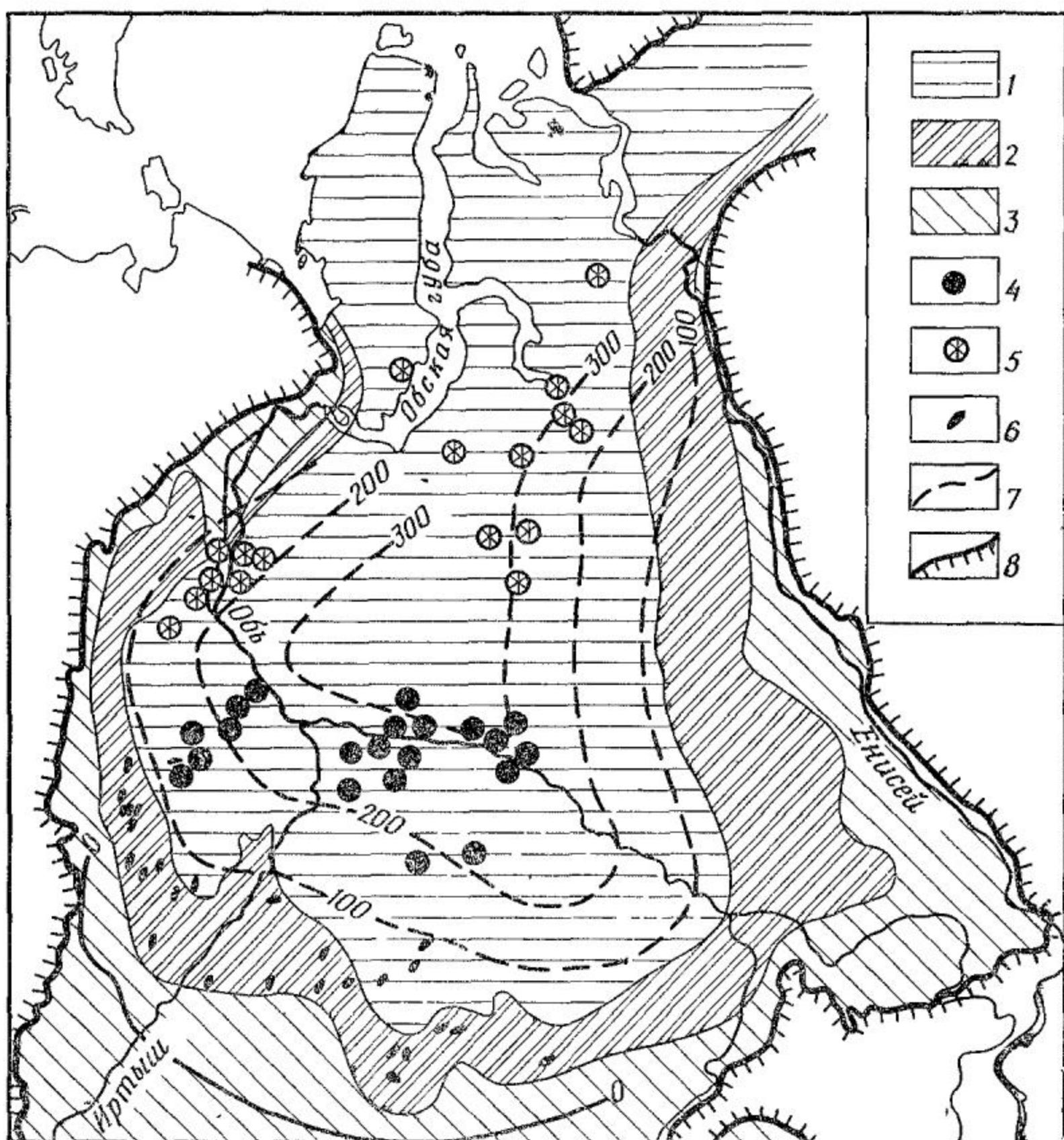


Рис. 64. Карта прогноза нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности (по Н. Н. Ростовцеву и др.)

1 — площади высокоперспективные; 2 — площади с неясными перспективами; 3 — площади неперспективные; 4 — месторождения нефти, 5 — месторождения газа; 6 — площади, где разведка дала отрицательный результат, 7 — линии равного давления насыщения растворенных в воде газов, 8 — граница Западно-Сибирской низменности

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 отметить, что на картах перспектив необходимо показывать такие данные, которые точнее и полнее отражают условия нефтегазоносности изучаемого региона (4, 6, 7, 10). На рис. 64 для примера приведена карта прогноза нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности, составленная на основе обобщения гидрогеологических, гидрохимических и других материалов и данных разведки.

Совершенно очевидно, что для обоснования 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 не прибегают к составлению специальных гидрогеологических перспективных карт. Гидрогеологические данные в таком случае 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 нефтегазоводоносных 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 пласти при бурении скважин, промывках и заводнении пластов в целях поддержания пластового давления).

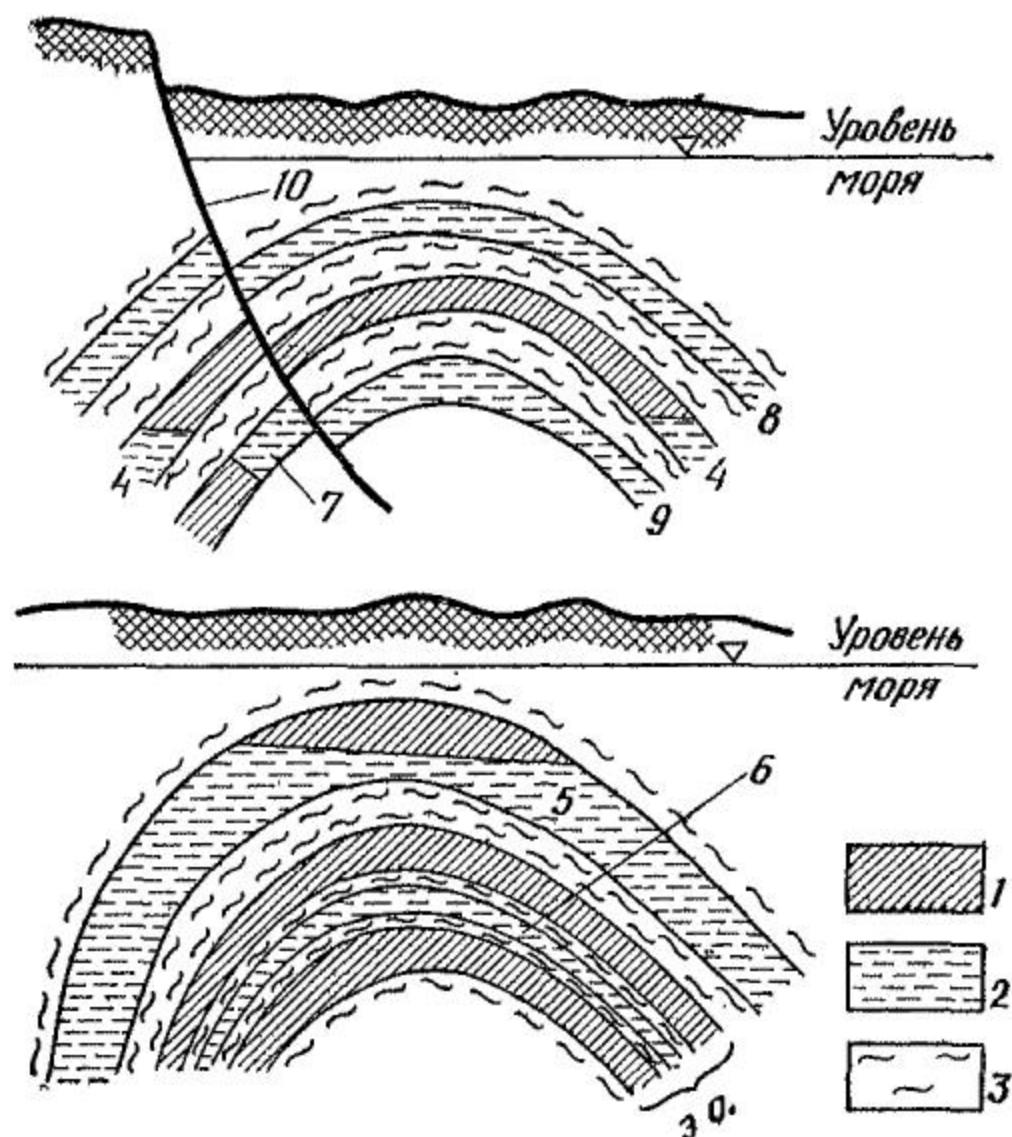


Рис. 65. Схема залегания вод на нефтегазовом месторождении (по М. А. Жданову и М. И. Максимову):

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

указанной выше гидрологической информации способствуют эффективному решению задач разведки, правильной интерпретации промыслового геофизического исследования, проектированию разработки нефтегазовых месторождений, ее рациональному осуществлению и проведению мероприятий по контролю и управлению процессом разработки.

Гидрологические исследования при разведке нефтяных и газовых месторождений. В процессе разведочных работ гидрологические 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 гидрологических и гидрохимических особенностей разреза месторождения, выявления

Наибольшее распространение, важность и значение имеют пластовые воды месторождений, которые в зависимости от их пространственного расположения по отношению к нефтяным и газовым залежам подразделяются на *нижние краевые* (контурные), *подошвенные*, *промежуточные*, *верхние краевые* (встречаются очень редко), *верхние и нижние воды*, схематически изображенные на рис. 65.

Гидравлические исследования пластовых, а иногда тектонических и технических вод и получение информации способствуют установлению месторождений нефти и газа промыслового геофизических исследований нефтегазовых месторождений, ее рациональному осуществлению и проведению мероприятий по контролю и управлению процессом разработки.

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 особенностями скважин, значительными глубинами залегания опробуемых горизонтов (2000—3000 м и более), высокими напорами, газонасыщенностью, температурой и другими особенностями 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 аппаратур (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 (2—4, 6, 7, 8, 9, 11).

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. Эти сведения используются для

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 гидрологических разрезах, где наряду с данными по стратиграфии и литологии пород отображаются осредненные сведения о химическом и газовом составе подземных вод, приведенных напорах, дебитах и температуре по всем освещаемым стратиграфическим горизонтам (по методике Г. М. Сухарева).

Для месторождений с резким изменением гидрогеологических показателей по площади начальные гидрогеологические условия удобнее показывать на различных картах (химического состава, минерализации, газонасыщенности, изоньез 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 данные 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 контурной 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 со-

ства 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 (4, 6, 7, 11).

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.

Весьма эффективно и широко применяется на практике система разработки месторождений в условиях водонапорного режима с поддержанием пластового давления путем нагнетания воды (или газа) в продуктивные пласти. Заводнение может быть закончурным, 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 завоевания нефтегазовых месторождений. Такого рода исследования аналогичны исследованиям для целей водоснабжения (см. гл. IX) и искусственного пополнения запасов подземных вод (см. гл. X). Режим работы водозaborных сооружений должен быть увязан с системой и технологией закачки вод в продуктивные пласти, а качество вод должно соответствовать специально обоснованным требованиям в отношении состава, нефтьвызывающих и коррозионных свойств вод, температуры, наличия взвесей, глинистых частиц и солей, способных вынадать 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 (6, 9, 11), а специфика промысловых гидрогеологических исследований, выполняемых для обоснования проектов разработки нефтяных и газовых месторождений, отражена в руководствах (2, 4, 5, 7, 8, 11).

Гидрогеологические наблюдения и исследования скважин при разведке и разбуривании месторождений нефти и газа используются также для правильной качественной и количественной интерпретации промысло-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 нефтегазоносности, или скважины, ранее эксплуатировавшиеся и впоследствии обводнившиеся пластовой водой; 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—7, 9, 11). 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.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Материалы XXV съезда КПСС*. М., Политиздат, 1976, 256 с.
- 2 *Василевский В. Н., Петров А. И. Исследование нефтяных пластов и скважин*. М., «Недра», 1973, 344 с.
- 3 *Гаттенбергер Ю. П. Гидрогеология и гидродинамика подземных вод*. М., «Недра», 1971, 184 с.
- 4 *Гидрогеология газоносных районов Советского Союза*. Под ред. В. Н. Корценштейна и С. Е. Верболова. М., тр. ВНИИГаза, вып. 33/41, 1970, 592 с.
- 5 *Донцов К. М. Теоретические основы проектирования разработки нефтяных месторождений*. М., «Недра», 1965, 287 с.
- 6 *Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений*. Изд. 2-е М., «Недра», 1972, 280 с.
- 7 *Корценштейн В. Н. Методика гидрогеологических исследований нефте-газоносных районов*. Изд. 2-е. М., Гостоптехиздат, 1963, 309 с.
- 8 *Петров А. И. Методы и техника измерений при промысловых исследованиях скважин*. М., «Недра», 1972, 272 с.
- 9 *Сухарев Г. М. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений*. М., «Недра», 1971, 304 с.
- 10 *Швец В. М. Органические вещества подземных вод*. М., «Недра», 1973, 192 с.
- 11 *Шугрин В. П. Нефтегазопромысловая гидрогеология*. М., «Недра», 1973, 168 с.

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.

Представление о масштабах и значении указанных видов строительства дают, например, следующие сведения. Гидротехническое строительство, являющееся основой энергетики, осуществляется 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. Полезный объем созданных и создаваемых в настоящее время водохранилищ превышает 10% годового стока всех рек СССР. Исследованиями выявлена возможность создания в нашей стране водохранилищ, вмещающих 40% годового стока. В перспективе на 2000 г. полный объем водохранилищ СССР оценивается в 2600 млрд. м³, а полезный их объем — в 1200 млрд. м³, что даст возможность управлять 25—30% годового стока рек страны.

Поистине грандиозны масштабы промышленного, гражданского и других видов строительства. Только за истекшее пятилетие (1971—1975 гг.) общие капиталовложения в строительство превысили 500 млрд. руб. В текущем пятилетии намечено увеличить капиталовложения в строительство на 24—26%. Важнейшей задачей народного хозяйства является всенародное повышение эффективности капиталовложений в строительство. В этом отношении 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. В частности, за счет этих мероприятий и главным образом за счет выбора наиболее рациональных проектных решений (чему в немалой степени способствуют своевременно и качественно выполненные изыскания) намечается обеспечить снижение сметной стоимости строительства не менее чем на 3—5%.

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, которые 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 слож-

ных 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 (технический проект и рабочие чертежи) или одну (технорабочий проект) стадии. Одностадийное проектирование целесообразно в простых природных условиях, для некрупных 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 сведения 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) динамика 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, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений необходимо неукоснительно соблюдать законы об охране природы и осуществления 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 пограв сельскохозяйственных культур, вырубок леса, загрязнений подземных и поверхностных вод, заболачивания, пожаров, гибели птиц и животных, недопущение активизации нежелательных естественных процессов—оползней, обвалов, осипей, 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 проводят-

ся 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, оныгино-физиогравиметрических 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 ресурсов реки или ее бассейна и для технико-экономического обоснования целесообразности гидротехнического строительства), так и для обоснования проектирования на стадиях ТП и РЧ. Для обоснования схемы и ТЭО обычно используются материалы региональных геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических исследований (в частности, мелкомасштабных и среднемасштабных съемочных работ), освещающие территорию проектируемых гидроузлов, водохранилищ и трасс каналов по всем конкурирующим вариантам. Особое внимание при изысканиях уделяется площадям предполагаемого размещения инженерных сооружений и участкам с чеблагоприятными 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 рекогносировочные исследования, которые паряду 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 технический проект и рабочие чертежи (или на стадии технорабочий 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 илотин и других водонапорных сооружений, а также из водохранилищ, каналов и напорных бассейнов; 3) обоснование просколов 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 за счет использования подземных вод.

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 (гидроизогипс, гидроизопьез, гидродинамических и др.), профилей (водопроницаемости, гидрохимических), графиков изменения уровней, химического состава, температуры воды и т.д.

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 — технический 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 рабочих чертежей осуществляются исследования по уточнению и детализации гидрогеологических условий, обеспечивающие доработку и корректировку отдельных технических реше-

ний, 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 результивности выполненных исследований и совершенствования методики их проведения (3, 5, 8, 9, 12).

Исследования для обоснования проектов плотин и других водонапорных сооружений. Основной вид исследований для обоснования технического 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, наливы, 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 до четвертичных пород и заглубления их в относительно непроницаемые и прозрачные 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 ИПГ).

На стадии рабочих чертежей детализируются исследования в пределах выбранного и параллельных ему створов, проходят 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 дrena-

жей 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 рабочих чертежей располагаются, как правило, в пределах контуров сооружений и их котлованов. За их пределами проходят 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 особенностями 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 площадях, 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 водопонизительных 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 определяется вопросами, которые остались нерешенными при утверждении технического проекта, однако в целом он не должен превышать объема изысканий, выполненного на стадии технического 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 исследо-

вания в районе водохранилищ проводятся в два этапа (для обоснования технического проекта).

На первом этапе на основании проведения комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1 : 50 000 или 1 : 100 000, осуществляющейся в пределах чаши водохранилищ, примыкающих территорий (в зоне 0,5—2 км) и водораздельных участков, дается общая оценка надежности водохранилищ 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 и 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 детальных 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 чими от 0,2 до 5 км (в зависимости от сложности условий), с размещением 2—4 скважин на каждом поперечнике и доведением их до выдержанного водоуноса. 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 сконцентрированием 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 урезе 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, расположенных 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 рабочих чертежей в районах водохранилищ проходятся стационарные гидрогеологические наблюдения и проводятся дополнительные исследования при необходимости уточнения прогнозов подпора и состава 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 шурfov вдоль изучаемых трасс (на расстояниях 0,2—1 км), заложением поперечников на участках, неблагоприятных в фильтрации относительно 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 строительного водонапряжения (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 связку 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 являются одним из основных видов изысканий, обеспечивая 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 магнитаций (см. гл. III, § 1 и 3). Реже применяются ударно-канатный, 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 планово-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: уровни проводность, пьезопроводность, недостаток насыщения, капиллярное поднятие, направление и действительная скорость движения подземных вод. Основными видами опробования явля-

ются для водоносных пород одиночные и кустовые опытные откачки и нагнетания, для неводоносных наливы в шурфы, наливы 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 противофильтрационных 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 радиоиндикаторные 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 противофильтрационных 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 технического 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. 66). В основании земляной плотины створы скважин располагают перпендикулярно ее оси. Для наблюдений за напорами подземных вод и развитием процессов растворения и выщелачива-

ния пород в основании плотин закладывают пьезометрические скважины. На рис. 67 — гидрогеохимическом профиле — приведена схема размещения пьезометров в основании уникальной плотины Камской ГЭС, построенной на гипсонасных 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.

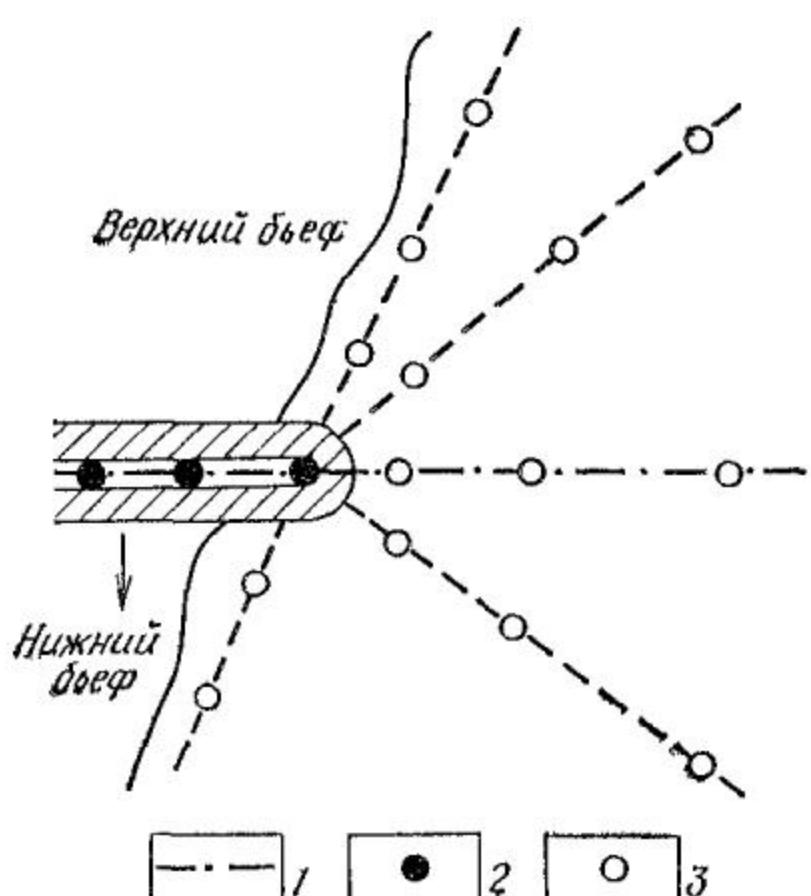


Рис. 66 Схема расположения наблюдательных скважин для изучения режима подземных вод после сооружения плотины.

1 — ось плотины; 2 — наблюдательные скважины на берегу, 3 — наблюдательные скважины на берегу

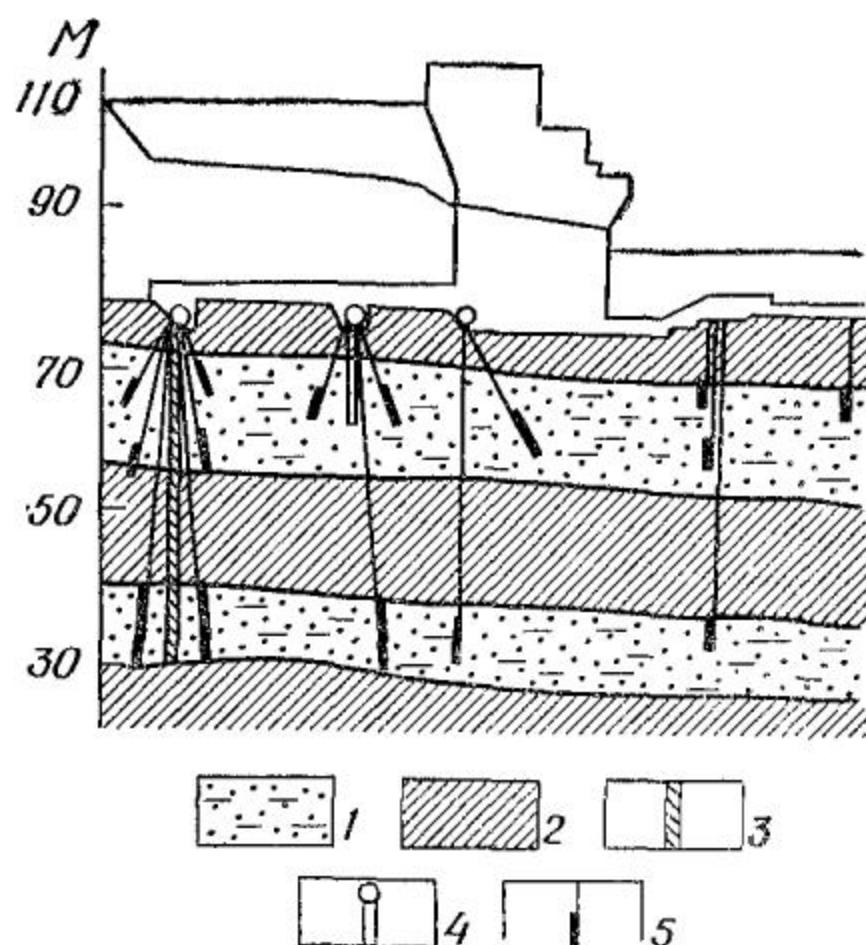


Рис. 67 Схема размещения скважин-пьезометров в основании бетонной плотины Камской ГЭС

1 — водопосыпные горизонты, 2 — практически водоупорные породы, 3 — цементационная завеса в попуре, 4 — вертикальный дренаж из потерны, 5 — пьезометр и его рабочий интервал

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 и используются 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 выщелачивания и растворения солей пород основания и примыкания сооружений (рис. 67).

Основной объем гидрохимических исследований (химические анализы проб воды, определения агрессивных свойств и выщелачивающей способности вод, специальные анализы по заданиям) выполняется при изысканиях для обоснования ТЭО и технического 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 являются 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 водопоявлений, отбор проб воды на химические анализы, соответствующая гидрогеологическая документация горно-буровых работ (скважин, шурfov, расчисток, котлованов), лабораторные и полевые опытно-фильтрационные работы, гидрогеологические наблюдения по изучению режима грунтовых и реже 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, осуществляющейся на более поздних стадиях изысканий (обычно для обоснования технического проекта и рабочих чертежей), 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 (в 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 (ТП и РЧ) или в одну (технорабочий 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 технического проекта и рабочих чертежей строительства промышленных и гражданских сооружений выполняются съемочные работы и инженерно-геологическая разведка с проведением основного комплекса исследований и опробования на стадии составления технического проекта (или технорабочего 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 рабочих чертежей допускается проведение дополнительных исследований для уточнения гидрогеологических и инженерно-геологических условий в пределах зоны активного воздействи-

вия 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 водопонизительных и дренажных устройств (водопонизительных, 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 водопонизительные 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) усили-

вается применением вакуумирования и электроосушения (3, 10, 12). Наиболее часто практикуются линейная и кольцевая схемы расположения водопонизительных 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 водопонизительных устройств должны быть обоснованы специальными гидрогеологическими расчетами.

Обычно проекты строительного водопонижения разрабатываются в одну стадию — технорабочий проект. В новых, еще не освоенных строительством районах, характеризующихся весьма сложными гидрогеологическими условиями, проектирование водопонижения может осуществляться в две стадии 1) технический проект со сметно-финансовым расчетом и 2) рабочие чертежи с уточненной сметой.

При одностадийном проектировании в технорабочем проекте строительного водопонижения должны быть решены следующие задачи 1) обоснованы необходимость и экономическая целесообразность водопонизительных мероприятий на данном строительном объекте, установлены размеры осушаемой территории; 2) разработаны принципиальные схемы расположения водопонизительных устройств, 3) проведены гидрогеологические расчеты, обосновывающие выбор того или иного варианта водопонижения с точки зрения эффекта осушения; 4) определена продолжительность формирования депрессионной воронки; 5) разработаны конструкции водопонизительных 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 водопонизительных устройств.

При двухстадийном проектировании все основные задачи решаются на стадии технического проекта. На стадии рабочих чертежей 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 устанавливается 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 начина-

ются с изучения фоновых 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 технического проекта. Для обоснования рабочих чертежей выполняются дополнительные изыскания, проведение которых вызывается необходимостью уточнений и детализации условий осуществления водопонижения, недостаточно освещенных предыдущими исследованиями.

В результате проведения гидрогеологических исследований должны быть получены данные, обеспечивающие обоснование 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, канавы). При этом разведочные и другие выработки размещают обычно по профилям, что обеспечивает получение представительных геолого-гидрогеологических 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 влиянии на прилегающие территории. Опытные откачки желательно проводить на 2—3 ступени понижения для получения кривых дебита для водопонизительных 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 водопонизительных скважин может достигать 15—20% от объема изысканий на стадии рабочих чертежей. В этот объем входит также документация бурения и оборудования скважин водопонижения (2, 4, 12).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Материалы XXV съезда КПСС*. М., Политиздат, 1976, 256 с.
- 2 *Абрамов С К* Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. Изд. 3-е М., Стройиздат, 1973, 280 с.
3. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Гидрогеология СССР, сводный том. Вып. 4, М., «Недра», 1973, 278 с
4. *Водопонижение в строительстве*. Под ред. И. К. Станченко. М., Стройиздат, 1971, 182 с.
5. Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений. Под ред. Е С Карпышева М, «Энергия», 1972, 376 с.
- 6 *Маменко Г. К.* Камская плотина на реке Каме.— Сб. «Геология и плотины», т. V. М., «Энергия», 1967, 9—38 с.
7. *Маменко Г. К.* Плотина Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС, на р. Волге.— Сб. «Геология и плотины», т. VI. М., «Энергия», 1972, 54—79 с.
8. *Маменко Г. К., Федоров Д. В.* Основное направление гидрогеологических исследований при изысканиях под гидротехническое строительство. Тр. Гидро-проекта, сб. 23. М, 1972, 194—201 с.
9. *Опыт и методика изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий крупных водохранилищ* Ч. 2 и 3 Изд-во МГУ, 1961, 360 с.
10. *Солодухин М Л.* Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства М, «Недра», 1975, 188 с.
11. *Справочник по общестроительным работам* Инженерные изыскания в строительстве. М, Стройиздат, 1975, 480 с.
12. *Справочное руководство гидрогеолога* Изд. 2 е, т. 2. Л., «Недра», 1967, 360 с.

Глава XVI

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 литосфера 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, предопределляемые своеобразием мерзлотно-гидрогеологических условий (2, 3, 5, 6).

§ 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 передко 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 осо-

бенностей 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.

Для гидрогеологических целей наибольший интерес представляет изучение таликов, развитие которых обусловлено взаимодействием подземных вод и мерзлых толщ пород. Талики развиты во всех регионах области многолетнемерзлых пород, и именно они характеризуют в основном степень прерывистости мерзлых толщ. Изучение их очень важно, так как именно они служат областями питания и разгрузки подземных вод.

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.

Определение мощности мерзлой толщи необходимо и для подсчета ресурсов подземных вод, так как в процессе промерзания верхних водоносных горизонтов существенно изменяется объем гидрогеологических структур и т. д. 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—6).

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 предопределяют 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 водопроявлений, намеча-

ются 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 наледи, 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 весенне 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 гидро-геологические 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 поверхностных 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 (что очень существенно) 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. Дебиты источников, образующих наледи, изменяются от нескольких литров в секунду на юге области распространения многолетней мерзлоты до сотен и даже тысяч литров в секунду в северо-восточных районах страны. 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 (электрофильтрование, электроздонирование, 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 (электрофильтрование и электроздонирование).

Существенное повышение эффективности мерзлотно-гидрогеологической съемки достигается за счет широкого применения аэрометодов (3, 6). 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, полыньи, 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 многих площадях при этом обеспечивается получение достаточно полной и достоверной информации о литологических особенностях района и общих чертах его геокриологической и гидрогеологической обстановки (3, 6). 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 железнодорожной магистрали (1, 2, 6).

Наблюдения за режимом подземных вод и температурным режимом горных пород. Такие наблюдения являются важнейшей составной частью выполняемых мерзлотно-гидрогеологических исследований. Они необходимы при решении самых разнообразных инженерно-гидрогеологических задач (при водо-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 глуби-

не; 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 многолетнемерзлых 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 соляркой или рассолом (см. рис. 40), 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 частичной их 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 (4).

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, замер-

занием 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, толщи 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.

Метод вертикального электрического зондирования применяется для определения положения верхней и нижней границ мерзлой зоны с установлением при этом мощности замкнутых и сквозных таликов, выявлением и оценкой мощности межмерзлотных таликов и определением толщины деятельного слоя, выяснения литологических особенностей мерзлых рыхлых отложений по значению удельного электрического сопротивления и другим признакам, мощности льдистого горизонта мерзлых рыхлых отложений среди общей толщи рыхлых пород.

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. Это своеобразие, как уже отмечалось выше, предопределется наличием в разрезе месторождений подземных вод многолетнемерзлых пород и воды и спецификой их влияния на гидрогеологические условия месторождений, режим и ресурсы подземных вод, условия их разведки и эксплуатации. 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 исследований, 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 (5): 1) грунтовых надмерзлотных вод рыхлых четвертичных отложений; 2) грунтовых надмерзлотных вод коры выветривания дочетвертичных пород и песчано-галечниковых подрусловых и подозерных аллювиальных отложений; 3) подземных надмерзлотных вод дочетвертичных пород артезианских бассейнов платформенных областей; 4) подземных подмерзлотных вод дочетвертичных пород или сквозных таликов горноскладчатых областей; 5) подземных подмерзлотных вод дочетвертичных пород глубоких горизонтов платформенных и горноскладчатых областей.

Подземные воды последних трех подтипов месторождений обычно напорные (иногда высоконапорные) и могут рассматриваться как основные для организации крупного водоснабжения. Пригодными для организации крупного водоснабжения (особенно в условиях их искусственного пополнения) являются и подземные воды песчано-галечниковых подрусловых и подозерных отложений, залегающие в глубоких или сквозных таликах и непромерзающие в зимнее время.

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), разведочное бурение скважин (главным образом по поперечникам и профилям, реже по сетке), геофизические методы разведки (электроздондирование, 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 подозерные талики по сетке, нередко со льда), ориентированным нормально к разведуемым водовмещающим структурам. Глубина скважин при разведке подмерзлотных 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 весьма 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.

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. 68 приведена принципиальная схема оборудования в скважине противообледенительной колонны с электрообогревателями, а на рис.

40 — схема оборудования замерзающих скважин для наблюдений за режимом подземных вод.

Мероприятия по предотвращению замерзания воды в трубах следует предусматривать и при проектировании различного рода трубопроводов для подачи и отведения воды. Неменее важно учитывать инженерно-геологические условия по трассе трубопровода, особенно в связи с возможным нарушением естественного температурного режима мерзлых пород, их периодическим оттаиванием 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

Рис. 68. Схема противообледенительного электронагревательного устройства в скважине:

1 — обсадная колонна труб, 2 — рабочая колонна труб, 3 — электронагреватели; 4 — многолетнемерзлые породы; 5 — водоносный горизонт

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 ча-

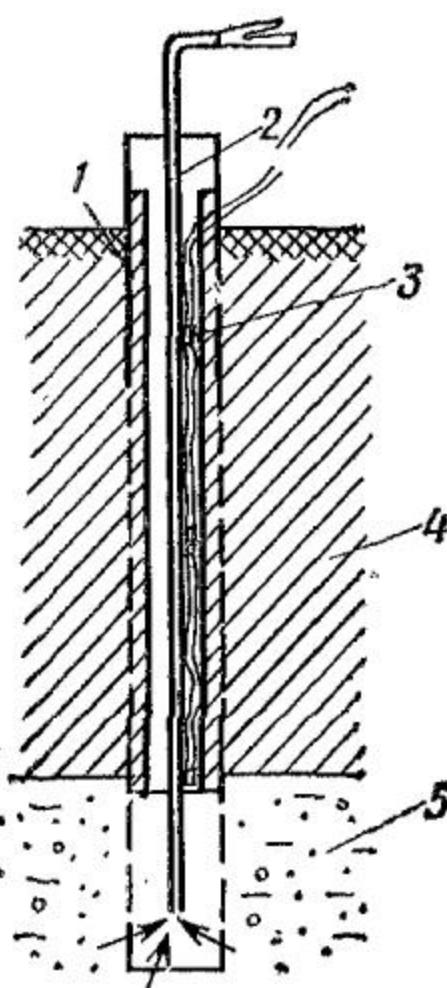


Рис. 68. Схема противообледенительного электронагревательного устройства в скважине:

1 — обсадная колонна труб, 2 — рабочая колонна труб, 3 — электронагреватели; 4 — многолетнемерзлые породы; 5 — водоносный горизонт

стично 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, что нередко и практикуется в районах Северо-Востока СССР. Особенno эффективны схемы искусственного пополнения запасов для месторождений ограниченной естественной емкости (подрусловых и подозерных таликов, замкнутых или частично замкнутых артезианских бассейнов межгорного типа и др.). Искусственное пополнение осуществляется обычно в летнее время 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вельмина Н. А. Особенности гидрогеологии мерзлой зоны литосферы (криогидрогеология). М., «Недра», 1970, 327 с.
- 2 Гидрогеология СССР. Якутская АССР, т. 20. М., «Недра», 1970, 383 с.
- 3 Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 200 000 и 1 : 500 000, под общ. ред. В. А. Кудрявцева, К. А. Кондратьевой и Н. И. Труш. Изд-во МГУ, 1970, 354 с
4. Общее мерзлотоведение. Под ред. П. И. Мельникова и Н. И. Толстихина. М., «Наука», 1974, 292 с.
- 5 Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред. Н. Н. Биндемана. ВСЕГИНГЕО, М., «Недра», 1969, 328 с.
6. Протасьева И. В. Аэрометоды в геокриологии. М., «Наука», 1967, 196 с.

Глава XVII

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.) ставит 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, 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—3).

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 прогрессивными 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 их 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.

Подземное захоронение промстоков допустимо в глубокие водоносные горизонты, содержащие минерализованные воды, непригодные для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, бальнеологических целей или добычи полезных ископаемых. По сравнению с обычными методами очистки и обезвреживания промстоков оно является экономически более эффективным и вместе с тем во многих случаях обеспечивает достаточно надежное захоронение сточных вод без порчи и загрязнения важных в народнохозяйственном отношении поверхностных и подземных вод.

В СССР и других странах имеется достаточно большой опыт успешного сброса в глубокие водоносные горизонты попутных нефтяных вод и сточных вод нефтеперерабатывающей промышленно-

сти, широко используется закачка этих вод для заводнения эксплуатируемых нефтяных месторождений, начинает практиковаться подземное захоронение токсичных и нетоксичных сточных вод промышленности (2—6). 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.

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.

§ 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 (2—6). Поэтому рассмотрим сначала некоторые общие требования и положения, которые необходимо учитывать при выборе поглощающих горизонтов для захоронения промстоков.

Как уже отмечалось выше, 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 пласти 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 выдержаные 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 трещиловатости, 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, руководствуясь при этом следующими соображениями (2—4, 6).

Захоронение весьма токсичных промстоков, содержащих 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. Так, на химических, нефтехимических и других предприятиях, срок службы которых измеряется десятилетиями, закачка отходящих от них промстоков в водоносные горизонты также длится десятилетиями. Продолжительность сброса рассола в процессе строительства подземных хранилищ в отложениях каменной соли или при вводе в эксплуатацию рассолопромыслов длится от 1 до 5 лет. Указанный фактор наряду с масштабами закачки промстоков существенно 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 колматации поровотрешинного 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 поровотрецинного пространства водовмещающих пород.

Твердая нерастворимая взвесь из сточных вод удаляется с помощью отстойников, жидкые 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 (3, 4).

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 0,15—0,5 руб. Отмеченные выше общие положения и особенности выбора объектов для подземного захоронения 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

Гидрогеологические исследования при решении практических задач подземного захоронения промстоков в поглощающие водоносные горизонты проводятся обычно в три стадии, которые соответствуют принятой в нашей стране стадийности проектирования промышленных предприятий: предварительные гидрогеологические исследования, детальная разведка водоносных горизонтов, опытно-промышленная закачка промстоков в водоносные горизонты. Кроме того, в процессе закачки промстоков, а на некоторых площадях и по окончании ее проводятся гидрогеологические наблюдения на участках захоронения промстоков.

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.

Предварительные гидрогеологические исследования выполняются для технико-экономического обоснования возможности и целесообразности подземного захоронения промстоков в данном районе. Исследования выполняются на основе проектного задания, выданного заинтересованной организацией. В задании должны быть указаны масштабы предполагаемого захоронения (количество промстоков и длительность их утилизации), детальная характеристика промстоков (общая минерализация, плотность, химический и газовый состав, содержание токсичных и других компонентов, механические примеси, температура, вязкость и т. д.), условия транспортировки промстоков к месту их закачки, желательные сроки проведения изысканий и другие сведения.

В результате проведения предварительных гидрогеологических исследований должны быть решены следующие основные задачи: 1) изучение геолого-литологических, структурных и гидрогеологических условий территории с выделением горизонтов перспективных для осуществления подземного захоронения промстоков; 2) ориентировочная характеристика гидрогеологических условий отдельных водоносных горизонтов и их сравнительная оценка в качестве возможных объектов захоронения промстоков; 3) выбор одного-двух поглощающих горизонтов для дальнейшего их изучения в связи с захоронением промстоков; 4) технико-экономическое обоснование условий сброса промстоков по основным перспективным вариантам.

Для решения указанных задач выполняются следующие виды гидрогеологических исследований:

1. Сбор, систематизация и обобщение геологических, гидрогеологических и геофизических материалов (в первую очередь материалов глубокого бурения и региональных мелкомасштабных геофизических работ) по району исследований.

2. Составление в предварительном виде на основании анализа материалов предыдущих работ прогнозной геолого-структурной карты и профилей по району будущих исследований и выделение на прогнозной карте перспективных водоносных горизонтов для сброса промстоков.

3. Бурение одиночных поисковых структурных и поисково-разведочных скважин с целью предварительной разведки прогнозной площади в целом и сравнительной оценки отдельных горизонтов или его частей. Поисково-структурные и поисково-разведочные скважины рекомендуется располагать по магистральным профилям с таким расчетом, чтобы бурением осветить возможно полнее прогнозную площадь. На большой площади и при выборе нескольких поглощающих горизонтов для сброса промстоков желательно расположить поисково-структурные скважины по двум или трем линиям взаимно пересекающихся магистральных профилей.

4. Предварительное гидрогеологическое качественное и количественное опробование вскрытых водоносных горизонтов путем изучения жерна и применение различных видов каротажа, изучение коллекторских свойств водовмещающих горных пород и предвари-

тельное определение основных расчетных гидрогеологических параметров с помощью опытных откачек и нагнетаний для одиночных скважин, а также лабораторных исследований керна и проб воды.

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.

5. Предварительное пробное нагнетание воды в одиночные скважины с целью изучения сравнительной характеристики приемистости пластов-коллекторов, а также обоснования выбора конструкции фильтров.

6. Камеральная обработка материалов и составление совместно с проектной организацией технико-экономического обоснования 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.

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 процентов от числа проектируемых для осуществления захоронения нагнетательных скважин.

Во всех скважинах с целью более детального геолого-литологического и гидрогеологического расчленения их разреза, установления предварительной и сопоставительной оценки коллекторских свойств, контроля технического их 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, одиночные, но из одной-двух скважин, кустовые). 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, гидоразрыв 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 определяется проницаемость пород по керну, изучаются процессы их взаимодействия с промстоками, химический состав и свойства подземных вод и промстоков, условия очистки и обезвреживания сточных вод 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 (обычно при двух-трех различных режимах).

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 расчетовдается 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. В сложных гидрогеологических и гидро-геохимических условиях для решения задач гидрогеологического обоснования подземного захоронения промстоков применяются моделирование и работы по опытно-промышленной закачке сточных вод.

Опытно-промышленная закачка промстоков в водоносные горизонты выполняется для гидрогеологического обоснования длительного захоронения значительных объемов промстоков и особенно в

сложных гидрогеологических и гидрохимических 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 соизмеримой 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 промстоковнимаются 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 определяются общая минерализация воды и содержание компонентов, маркирующих сбрасываемые жидкости.

Таким образом проблема захоронения промстоков должна решаться на практических, теоретических 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, 256 с
- 2 Гольдберг В.М., Семенова С.М., Чаповский Е.Г., Шестаков В.М. К методике гидрогеологического обоснования подземного захоронения промышленных стоков — «Разведка и охрана недр», 1969, № 3, с. 41—46.
- 3 Калашников П.И., Хвоинская Р.С. Об оценке гидрогеологических условий закачки промстоков в поглощающие горизонты — Известия высших учебных заведений Сер. «Геология и разведка», 1973, № 12, 100—106 с.
- 4 Миронов Е.А. Закачка промысловых сточных вод в продуктивные и поглощающие горизонты М., «Недра», 1971, 171 с
- 5 Подземное захоронение промстоков Библиографический аннотированный указатель отечественной и иностранной литературы (1965—1971 гг.). М., 1972, 39 с.
- 6 Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 2-е, т. 2. Л, «Недра», 1967, 360 с

ГЛАВА XVIII

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 последнее десятилетие. 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 геологогидрогеологических 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. 69). Движению газа в вертикальном направлении препятствует перекрывающая водоупорная толща, которая в данном случае выполняет роль покрышки (газоупора).

подземного хранилища. Такая покрышка 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 сцепментированы. 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 выше 300 м. Воды выбранных горизонтов должны быть непригодными к использованию в народном хозяйстве (2, 3, 5).

На совершенно ином принципе основан способ хранения нефти, нефтепродуктов, природного и сжиженного газа в искусственно создаваемых подземных полостях. Здесь емкостью для хранимых продуктов являются 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 воздушопорных толщах пород.

В пластах и залежах каменной соли мощностью выше 20 м подземные емкости сооружаются через вертикальные скважины на глубинах от 60 до 2000 м (рис. 70). В пластах каменной соли мощностью до 20 м сооружаются подземные тоннельные емкости через наклонно-горизонтальные скважины. Глубина заложения емкостей 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 (2—4).

В процессе подземного растворения каменной соли с каждого кубометра подземной емкости на поверхность извлекается 8—10 м³ рассола с концентрацией хлористого натрия от 100 до 300 г/л. Рас-

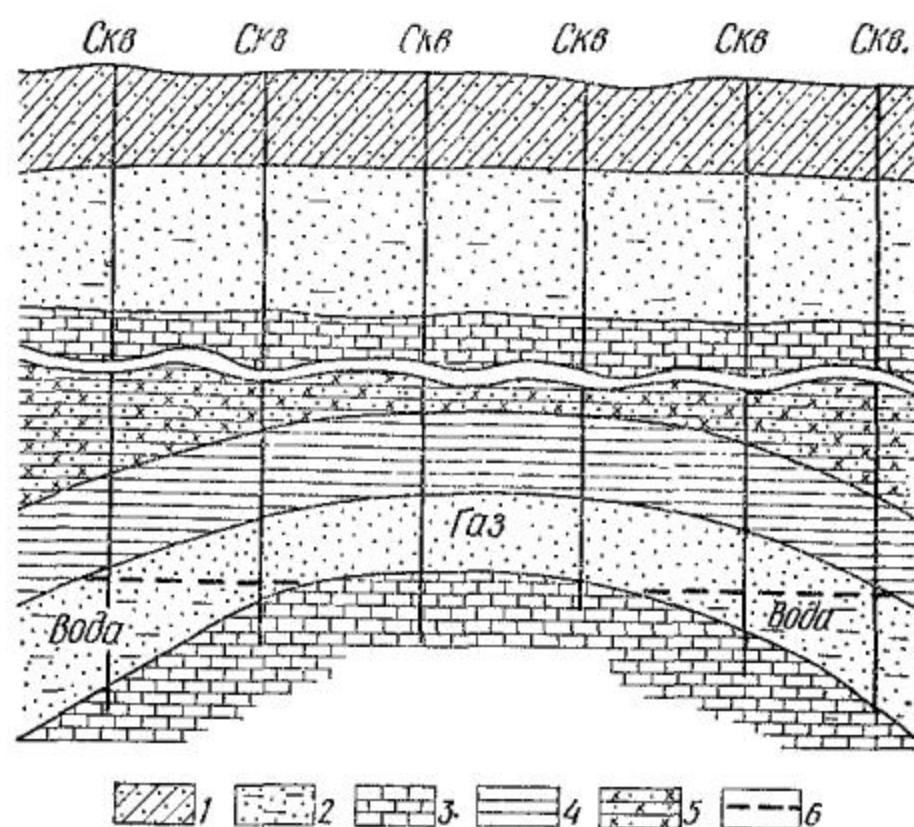


Рис. 69. Схематический разрез подземного газохранилища в водоносном горизонте

1 — суглинки, 2 — пески водопроницаемые, 3 — известники, 4 — глины, 5 — песчаники, 6 — контакт газ — вода

сол 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. XVII).

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 давлениях, 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, нетрециноватых доломитах 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 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.

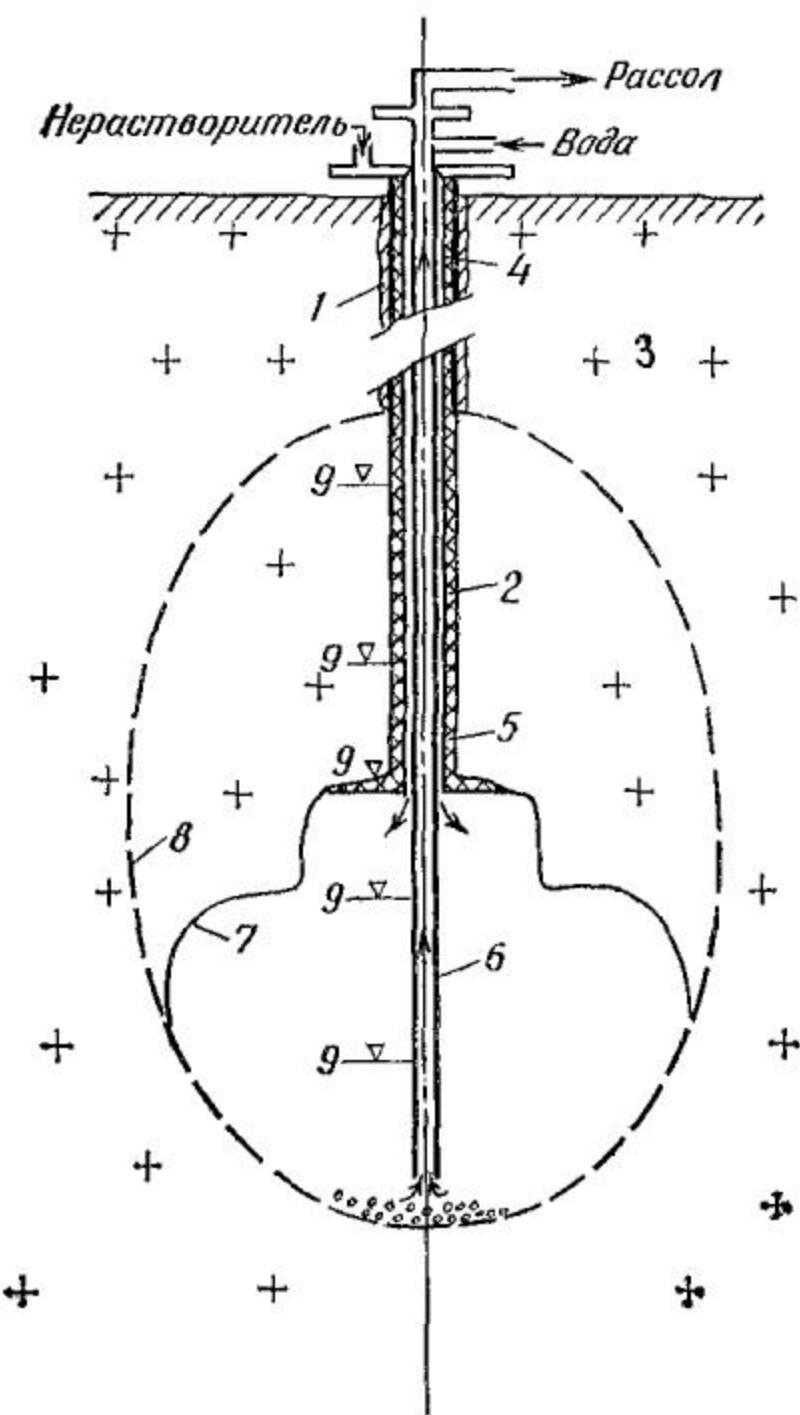


Рис. 70 Принципиальная схема выщелачивания каменной соли в процессе создания подземной емкости.

1 — цементное затрубное кольцо, 2 — «нерасторитель» (керосин и т. п.), 3 — каменная соль, 4 — обсадная колонна труб; 5 — промежуточная колонна, 6 — центральная колонна, 7 — промежуточный (рабочий) контур емкости; 8 — конечный (проектный) контур емкости, 9 — положение контакта «нерасторитель» — рассол на различных стадиях выщелачивания

жаться 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 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.

Таблица 7

Классы пород	Экранирующая способность	Давление прорыва газа через водоносную породу, кг/см ²	Проницаемость абсолютная (по газу), миллидарси	Медианный диаметр пор, мкм	Пористость открытая, %	
					по данным нагнетания ртутти	по данным насыщения керосином
I	Высокая	70	10 ⁻⁵	0,04	3	2
II	Повышенная	40÷70	10 ⁻⁴ ÷10 ⁻⁵	0,08÷0,04	5÷3	3÷2
III	Средняя	15÷40	10 ⁻³ ÷10 ⁻⁴	0,16÷0,08	5÷3	3÷2
IV	Пониженная	5÷15	10 ⁻² ÷10 ⁻³	0,5÷0,16	15÷5	12÷3
V	Низкая	1÷5	10 ⁻¹ ÷10 ⁻²	6,4÷0,5	20÷15	14÷12
VI	Отсутствует	1	10 ⁻¹	6,4	20	14

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 межsezонном 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 (1).

Первый этап исследований начинается с бурения параметрических скважин. Они проходят 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 гидропроводности Kh/μ ; 2) комплексный параметр $a/r_{\text{пр}}^2$; 3) коэффициент продуктивности скважин по воде q ; 4) приведенный радиус скважин $r_{\text{пр}}$ и коэффициент кажущейся проницаемости 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 $K_{\text{эфф}}$ и пьезопроводности a , а также обобщенный приведенный радиус скважины $r_{\text{пр}}$.

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 и пьезопроводности a .

Опытные откачки проводятся из группы (3—5) скважин при трех ступенях понижения уровня (и более) с определением отношения 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 выдержаных пластах число опытных скважин должно быть минимальным (2—3 скважины), а на фациально невыдержаных 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, установлен-

ном 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 заменяются 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 (1). 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 рассолопотреб-

ляющим предприятиям. При отсутствии таких предприятий проводится изучение гидрогеологических условий для выявления водоносных горизонтов, пригодных для сброса рассола (см. гл. XVII, § 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 разведуется соляная залежь для оценки возможностей сооружения подземных емкостей. 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 отпрессовкой скважин (4). Устье скважины оборудуется фонтанной арматурой или цементировочным оголовком. После этого в скважину нагнетается насыщенный хлоридный — натриевый рассол. Давление на устье скважины не должно превышать величины, определяемой по формуле:

$$P_{\max} = 0,1H(K\gamma - \gamma_p), \quad (\text{XVIII.1})$$

где P_{\max} — максимальное допустимое давление, кг/см²; H — глубина башмака обсадной колонны, м; K — коэффициент запаса, равный 0,9; γ — средняя объемная масса покрывающих пород, т/м³; γ_p — плотность нагнетаемого рассола, т/м³.

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-линзообразного 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 (рис. 71).

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.

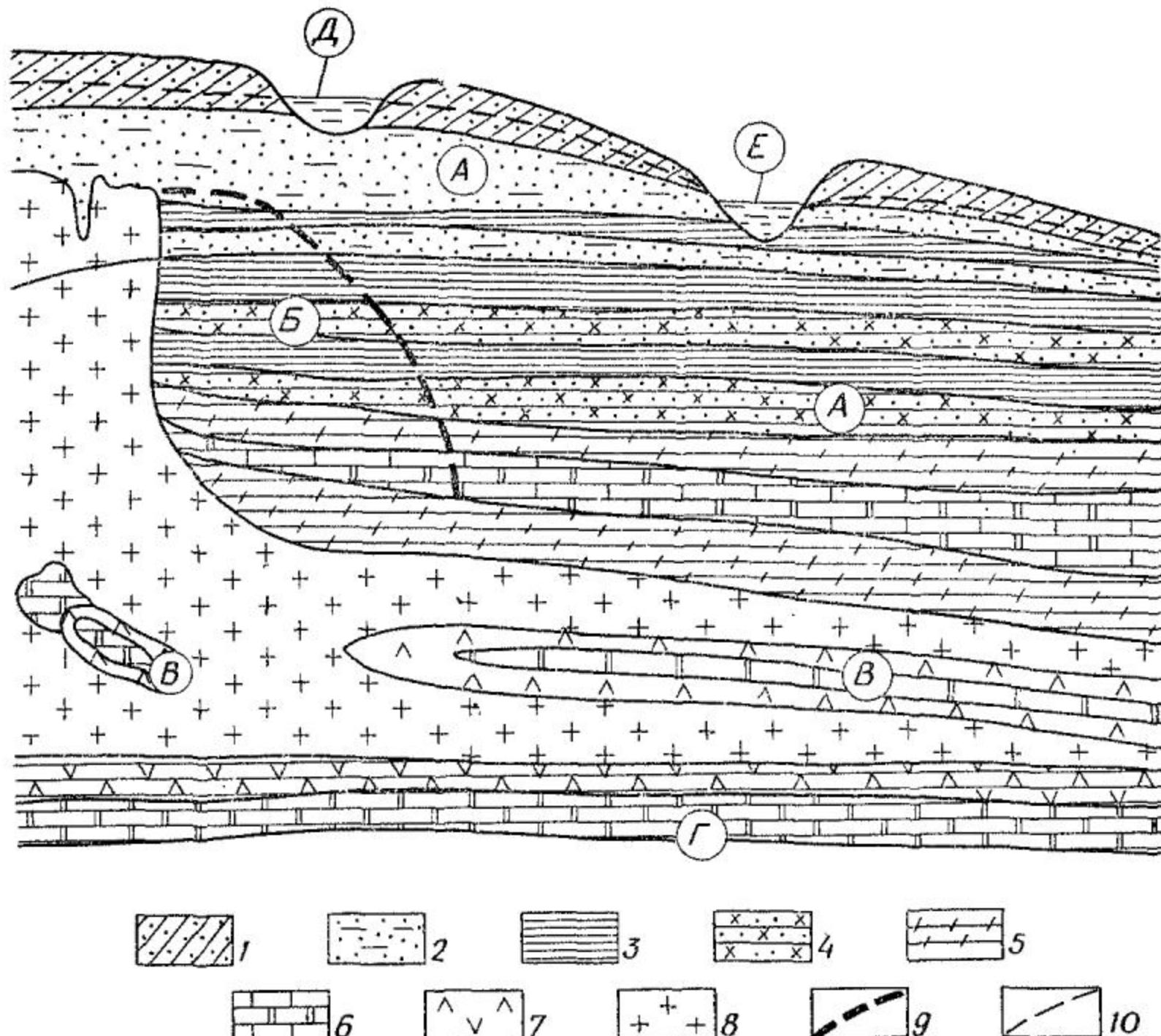


Рис. 71. Схема взаимосвязи соляной залежи с подземными водами:
 1 — суглинки; 2 — пески водоносные, 3 — глины, 4 — песчаники; 5 — алевролиты,
 6 — известняки и доломиты; 7 — гипсы и ангидриты, 8 — каменная соль; 9 —
 условная граница раздела надсолевых и околосолевых вод; 10 — уровень грун-
 товых вод; А — надсолевые воды; Б — околосолевые воды, В — внутрисолевые
 воды, Г — подсолевые воды, Д — соленое озеро, Е — пресное озеро

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 разведуются 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 выше параметры водоносного горизонта, используемые в качестве исходных данных для проектирования, определяются по данным опытных откачек, наливов или нагнетаний. Опытные откачки проводятся при трех понижениях уровня, начиная с большего. Продолжительность откачек на каждом понижении уровня с уставновившимся расходом должна быть не менее суток. 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 хранилища (3).

§ 4. Геолого-гидрогеологические исследования при проектировании подземных шахтных хранилищ

Последовательность проведения геолого-гидрогеологических исследований при создании подземных газонефтехранилищ шахтного типа (рис. 72) определяется стадийностью проектирования последних (2, 5).

Изучение фондовых или опубликованных геологических и гидрогеологических материалов осуществляется для составления технико-экономического обоснования строительства, в котором решает-

ся вопрос принципиальной технической возможности и экономической целесообразности сооружения хранилища в заданном районе. Основная цель изучения фондовых материалов — выявление водоупоров, 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.

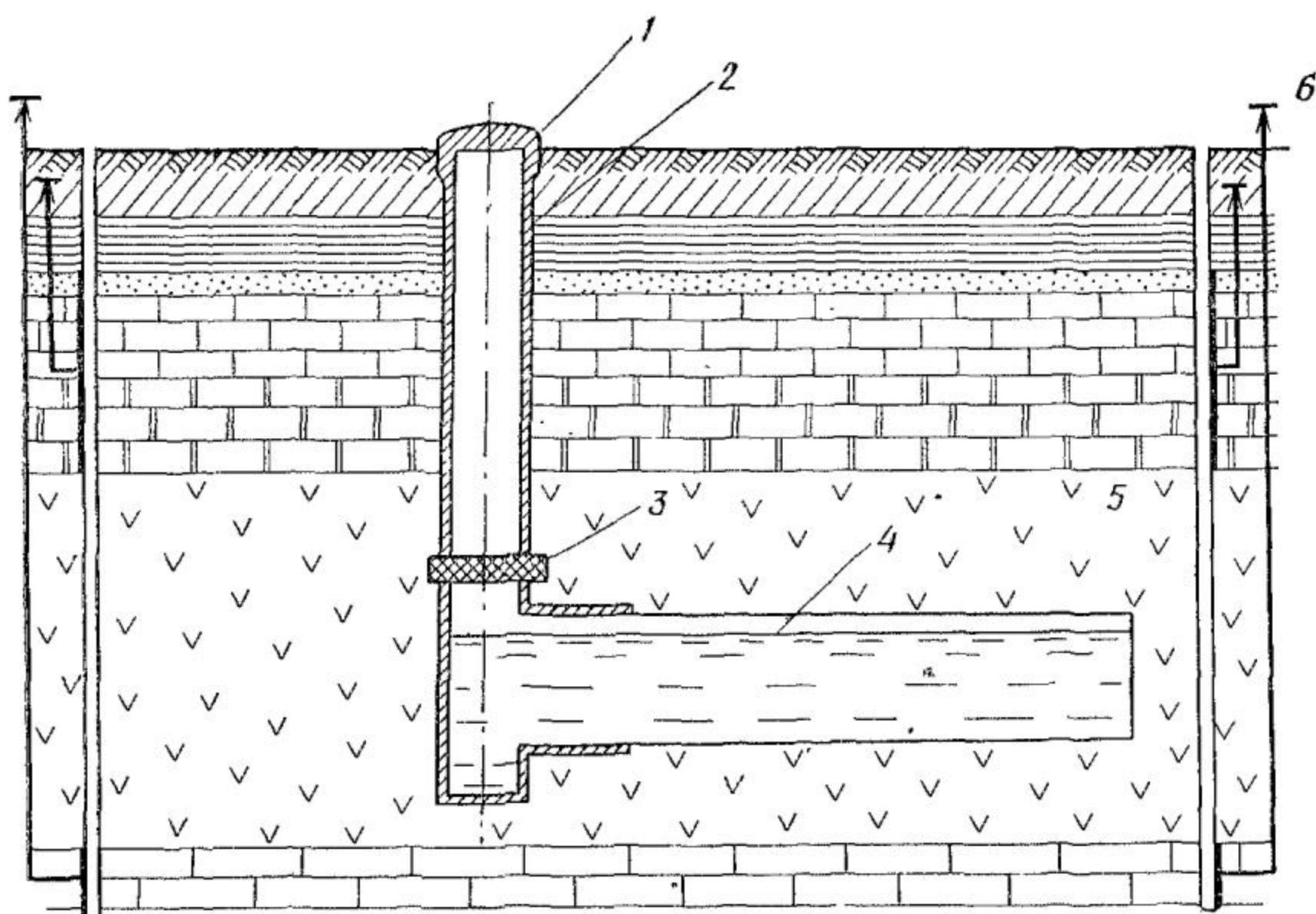


Рис. 72 Схематический геолого-гидрогеологический разрез хранилища шахтного типа:

1 — оголовок ствола; 2 — шахтный ствол; 3 — герметичная перемычка;
4 — выработка-емкость; 5 — пласт-водоупор; 6 — пьезометрические уровни водоносных горизонтов

Цель геолого-гидрогеологических исследований на стадии ТП — 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 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 предназначается 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 не менее 40% от общего числа разведочных скважин, проходимых на участке.

Все скважины проходят 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 стенных 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 затрубыном 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 рабочих чертежей хранилища проводятся на площадке, выбранной по результатам предшествующих работ в пределах разведенного 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 ТП, 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по гидроразведке водоносных пластов с целью создания подземных хранилищ природного газа М., «Союзбургаз», 1965, 184 с.
2. Временные методические указания по проведению геологоразведочных работ при проектировании подземных шахтных хранилищ нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов Л., 1976.
3. Временные указания по методике геологоразведочных работ для проектирования подземных хранилищ сжиженных газов и нефтепродуктов в отложениях каменной соли (ВУМ-ПХС—68) Л., 1968, 28 с.
4. Временные указания по проектированию и строительству подземных хранилищ в отложениях каменной соли (для нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов). СН-320—65 М., Стройиздат, 1965, 44 с.
5. Сохранский В. Б., Черкашинов В. И. Геолого-гидрогеологические исследования для проектирования подземных газонефтехранилищ шахтного типа. — Известия высших учебных заведений Сер «Геология и разведка». М., 1974, № 5, с 95—100.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
<i>Часть первая</i>	
Основные методы гидрогеологических исследований	
<i>Глава I.</i> Месторождения подземных вод и общие принципы их изучения	12
§ 1. Понятие о месторождениях подземных вод и особенностях их изучения	12
§ 2. Общие принципы проведения гидрогеологических исследований	17
§ 3. Основные виды и структура гидрогеологических исследований	26
§ 4. Планирование гидрогеологических исследований	28
§ 5. Эффективность гидрогеологических исследований	34
Литература	37
<i>Глава II.</i> Гидрогеологическая съемка и гидрогеологические карты	38
§ 1. Виды и задачи гидрогеологической съемки	38
§ 2. Содержание гидрогеологической съемки и методы ее проведения	42
§ 3. Характеристика исследований, выполняемых в составе гидрогеологической съемки	52
§ 4. Гидрогеологические карты	72
Литература	77
<i>Глава III.</i> Основные требования к способам проходки, конструкциям и оборудованию гидрогеологических скважин. Гидрогеологические наблюдения при геологоразведочных работах	78
§ 1. Основные требования к способам проходки и конструкциям гидрогеологических скважин	78
§ 2. Технические средства и приборы, применяемые при гидрогеологических исследованиях	90
§ 3. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин	99
§ 4. Гидрогеологические наблюдения при проведении горных работ	102
Литература	105
<i>Глава IV.</i> Полевые опытно-фильтрационные работы	106
§ 1. Основные виды полевых опытно-фильтрационных работ, их задачи и условия применения	107
§ 2. Методы определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек	109
§ 3. Методика организации и проведения откачек	128
§ 4. Методика организации и проведения опытных нагнетаний и наливов в скважины и шурфы	134
§ 5. Экспресс-опробование водоносных горизонтов	146
§ 6. Определение направления и скорости движения подземных вод	151
Литература	155
<i>Глава V.</i> Изучение режима и баланса подземных вод	157
§ 1. Режим и баланс подземных вод, цели и задачи их изучения	157
§ 2. Методы изучения режима подземных вод	159
§ 3. Методы изучения баланса подземных вод	171
§ 4. Прогноз и картирование режима подземных вод	174

§ 5 Определение гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом подземных вод	177
Литература	180
<i>Глава VI. Лабораторные гидрогеологические исследования</i>	181
§ 1. Лабораторные методы изучения водных, физических и фильтрационных свойств горных пород	181
§ 2. Лабораторное изучение физических свойств, химического, газового и бактериологического составов вод	187
§ 3. Вопросы методики отбора проб воды для лабораторных исследований и оценка качества подземных вод	190
Литература	193
<i>Глава VII. Моделирование фильтрации подземных вод</i>	194
§ 1. Моделирование как метод гидрогеологических исследований	194
§ 2. Типы гидрогеологических задач, решаемых с применением моделирования	197
§ 3. Требования к методике гидрогеологических исследований и исходным данным для моделирования	201
Литература	204
<i>Глава VIII. Геофизические, гидрохимические, радиогидрогеологические и другие виды исследований</i>	205
§ 1 Геофизические методы при гидрогеологических исследованиях	206
§ 2. Ядерно-физические методы исследований	216
§ 3. Гидрохимические исследования	218
§ 4 Радиогидрогеологические и другие виды исследований	222
Литература	226

Часть вторая

Методика гидрогеологических исследований при решении конкретных народнохозяйственных задач

<i>Глава IX. Гидрогеологические исследования для целей водоснабжения</i>	227
§ 1 Стадийность и задачи гидрогеологических исследований	229
§ 2. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей водоснабжения. Типизация месторождений подземных вод	235
§ 3. Технико-экономические обоснования при гидрогеологических исследованиях для целей водоснабжения	248
Литература	253
<i>Глава X. Гидрогеологические исследования для целей охраны и пополнения запасов подземных вод</i>	255
§ 1. Гидрогеологические исследования в связи с оценкой и прогнозом качества подземных вод	256
§ 2. Гидрогеологическое обоснование зон санитарной охраны водозаборов подземных вод	259
§ 3. Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод	260
§ 4 Принципы технико-экономического обоснования целесообразности и эффективности искусственного пополнения запасов подземных вод	267
§ 5. Основные методы увеличения и восстановления водообильности скважин	270
Литература	277

<i>Глава XI.</i> Гидрогеологические исследования минеральных, промышленных и термальных подземных вод	278
§ 1. Некоторые общие вопросы поисков и разведки месторождений минеральных, промышленных и термальных подземных вод	279
§ 2. Некоторые особенности гидрогеологических исследований минеральных, промышленных и термальных подземных вод	286
Литература	294
<i>Глава XII.</i> Гидрогеологические исследования в связи с орошением сельскохозяйственных земель	295
§ 1. Задачи и стадийность гидрогеологических исследований для целей орошения	298
§ 2. Некоторые особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей орошения	302
§ 3. Гидрогеологические исследования в связи с использованием подземных вод для орошения	316
Литература	320
<i>Глава XIII.</i> Гидрогеологические исследования в связи с осушением земель	321
§ 1. Задачи и стадийность гидрогеологических исследований для целей осушения	322
§ 2. Особенности состава и методики проведения гидрогеологических исследований для целей осушения	324
§ 3. Экономическая эффективность мелиораций	332
Литература	334
<i>Глава XIV.</i> Гидрогеологические исследования при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений	335
§ 1. Гидрогеологические особенности основных типов нефтегазоносных бассейнов и месторождений нефти и газа	336
§ 2. Гидрогеологические исследования при поисках нефтяных и газовых месторождений	339
§ 3. Гидрогеологические исследования при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений	343
Литература	349
<i>Глава XV.</i> Гидрогеологические исследования для целей строительства гидротехнических и других инженерных сооружений	350
§ 1. Общие положения проведения изысканий для различных видов строительства	351
§ 2. Гидрогеологические исследования для целей гидротехнического строительства	354
§ 3. Некоторые особенности методики гидрогеологических исследований для целей гидротехнического строительства	360
§ 4. Гидрогеологические исследования для целей промышленного и гражданского строительства	363
§ 5. Гидрогеологические исследования для целей строительного водопонижения	365
Литература	368
<i>Глава XVI.</i> Особенности проведения гидрогеологических исследований в области распространения многолетней мерзлоты	370
§ 1. Основные задачи и особенности гидрогеологических исследований в области распространения многолетней мерзлоты	371

§ 2. Особенности разведки и эксплуатации месторождений подземных вод в области многолетней мерзлоты	378
Литература	381
<i>Глава XVII. Гидрогеологические исследования в связи с подземным захоронением промышленных стоков</i>	382
§ 1. Требования, предъявляемые к выбору поглощающих горизонтов для захоронения промышленных стоков	383
§ 2. Задачи и методы гидрогеологических исследований для обоснования подземного захоронения сточных вод	386
Литература	391
<i>Глава XVIII. Гидрогеологические исследования в связи с созданием подземных газонефтехранилищ</i>	392
§ 1. Геологическое строение и гидрогеологические условия участков, пригодных для строительства подземных хранилищ . .	392
§ 2. Гидрогеологические исследования при проектировании и строительстве подземных хранилищ природного газа в водоносных горизонтах	395
§ 3. Гидрогеологические исследования при проектировании подземных хранилищ в отложениях каменной соли	398
§ 4. Геолого-гидрогеологические исследования при проектировании подземных шахтных хранилищ	401
Литература	404

**Петр Платонович Климентов,
Валерий Митрофаевич Кононов**

**МЕТОДИКА
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Редактор И. М. Шагирова. Художник Ю. Шлепер.
Художественный редактор Т. А. Коленкова. Технический
редактор Э. М. Чижевский. Корректор С. К. Марченко

ИБ № 1146

Изд. № Е-316 Сдано в набор 30.05.77 Подп. в печать 10.02.78.
Т 03626 Формат 60×90¹/₁₆ Бум. тип № 3 Гарнитура литературная.
Печать высокая. Объем 25,5 усл. печ л 29,33 уч изд л.
Тираж 8000 экз Зак № 2793 Цена 1 р 30 к

Издательство «Высшая школа»,
Москва, К 51, Неглинная ул., д. 29/14

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