

Н.И. ПЛОТНИКОВ
И.И. РОГИНЕЦ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



Н.И. ПЛОТНИКОВ
И.И. РОГИНЕЦ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

4755



МОСКВА "НЕДРА" 1987



Плотников Н. И., Рогинец И. И. Гидрогеология рудных месторождений.— М.: Недра, 1987.— 287 с., ил.

Освещены общие гидрогеологические условия главнейших горнорудных провинций СССР. Разработана новая геолого-промышленная группировка рудных месторождений по степени сложности их промышленного освоения и защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенеза. Изложены рекомендации по составу, содержанию и методике гидрогеологических исследований на стадиях разведки и промышленной разработки рудных месторождений. Рассмотрены характеристика техногенных процессов, возникающих при осушении горных выработок, и мероприятия по защите окружающей среды.

Для специалистов-гидрогеологов.

Табл. 14, ил. 76, список лит.— 37 назв.

Рецензент: В. М. Гольдберг, д-р геол.-минер. наук (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Высокие темпы роста горнодобывающей промышленности требовали существенного повышения эффективности использования всех полезных компонентов рудных месторождений и оценки влияния промышленного освоения месторождения на изменение геологической среды. Опыт освоения месторождений показывает, что техногенные процессы формируются не только в пределах осушения горных выработок, но также на площади эксплуатации хранилищ протокатов обогатительных фабрик, отвалов пустых пород, водозаборных сооружений, городских территорий предприятий.

В настоящее время возникла необходимость пересмотра общей направленности, технологической схемы и содержания комплекса гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. В общем комплексе исследований на всех стадиях изучения месторождений четко определились новые задачи, которые должны быть решены в стадии разведки и промышленного освоения месторождений, а также в стадию консервации.

В данной работе материал изложен на основании: 1) преемственности всего комплекса исследований, проводящегося на стадиях разведки, проектирования и строительства предприятия; 2) промышленного освоения и консервации объекта; 3) обязательного комплексирования гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на базе проведения работ по единой программе на всех стадиях изучения объекта.

К написанию настоящей книги кроме Н. И. Плотникова (гл. 1—12) и И. И. Рогинца (гл. 13, частично гл. 3 и 10) были привлечены Г. Г. Старцев (гл. 14), Е. П. Писанец (гл. 7), И. А. Баркалов (гл. 10), Е. М. Семенова, В. В. Сергеев (гл. 9), Б. В. Боровский, С. М. Семенов, А. А. Субботина (гл. 10), Г. Н. Кашковский, Ф. А. Лосев (гл. 11), В. С. Плотников (гл. 13).

Глава I

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ В ИЗУЧЕНИИ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В нашей стране интенсивно развивается рудодобывающая промышленность. При этом в промышленное освоение новых рудных месторождений все чаще вовлекаются объекты, имеющие весьма сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. При освоении таких месторождений, как правило, приходится применять предварительное, а затем длительное эксплуатационное осушение горных разработок, откачивая значительные объемы подземных вод. Наиболее сильное воздействие на изменение окружающей среды отмечается при групповой отработке (близко расположенных) рудных месторождений [23]. Все это усложняет промышленную разработку рудных месторождений и требует проведения специальных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований с целью своевременного решения главной практической задачи по обеспечению безопасных условий промышленной отработки месторождений и созданию условий для высокой производительности труда.

В связи с интенсивным развитием рудодобывающей промышленности весьма остро возникла новая проблема в современной гидрогеологии и инженерной геологии — охрана и защита окружающей среды от негативного влияния техногенеза, формирующегося при эксплуатации рудных месторождений [28]. Эта проблема определила необходимость постоянного изучения техногенных процессов в сферах влияния осушаемых горных разработок и эксплуатируемых объектов, входящих в общую структуру горнообогатительных комбинатов.

В связи с этим комплексное изучение рудных месторождений должно быть направлено на решение инженерно-технических задач с целью обеспечения безопасных условий их отработки, а также решения задач по охране и защите окружающей среды в сфере влияния горнодобывающего предприятия.

В настоящее время в структурном отношении и по степени влияния на изменение свойств окружающей среды горнодобывающие предприятия можно условно подразделить на 2 типа. Наиболее распространенным является второй тип структуры, куда входят: а) горный цех и принадлежащие ему породные стволы; б) обогатительный цех и его неперемнная принадлежность — хвостохранилище (бассейны накопителей промстоков или гидротвалы); в) цех хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения с неперемнным автономным (как правило) водозабор-

ным сооружением; г) город горняков, который чаще всего на предприятиях располагается в непосредственной близости от основных объектов предприятия, где также формируются техногенные процессы.

Как показывает опыт, при эксплуатации собственно рудных залежей и их осушения на площади влияния горных разработок всегда возникают техногенные процессы, негативно воздействующие на изменение свойств геологической среды. Нередко на предприятиях развиваются процессы взаимодействия водозаборов и осушительных устройств. Существенное влияние на загрязнение поверхностных и подземных вод оказывает эксплуатация хвостохранилищ (гидроотвалов). На площади хранения отвалов пустых пород может наблюдаться изменение ландшафтных условий и загрязнение подземных вод; на городских территориях часто проявляются техногенные процессы подтопления поверхностных сооружений.

Таким образом, сущность новой проблемы в области гидрогеологических и инженерно-геологических аспектов охраны окружающей среды состоит в комплексной оценке деятельности всех объектов горнорудного предприятия. Только с помощью такого научно-методического приема можно успешно решить возникающие в сфере деятельности горнорудного предприятия задачи по охране и защите окружающей среды. В связи с этим и возникает необходимость рационального размещения на горнорудном предприятии всех его объектов с таким расчетом, чтобы максимально снизить влияние на изменение свойств окружающей среды.

Наряду с этим определена необходимость комплексного и рационального освоения всех полезных компонентов рудных месторождений. Суть их состоит в непрерывном использовании при эксплуатации рудных месторождений ресурсов рудничных вод для целей водоснабжения, орошения или извлечения содержащихся в них полезных компонентов. В свете этого на объектах должны разрабатываться такие рациональные схемы осушения горных разработок, которые позволили бы, с одной стороны, обеспечить безопасные условия ведения горных работ и добычи рудных залежей, а с другой стороны, решить вопрос о рациональном использовании рудничных вод для практических целей.

Новая проблема определила содержание и состав гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, которые должны проводиться на стадиях изучения и промышленного освоения рудных месторождений: 1) поисков и всех видов разведки рудных месторождений; 2) проектирования и строительства горнорудного объекта; 3) промышленного освоения месторождения (длительной эксплуатации); 4) в стадию консервации объекта.

В стадию поисков и всех видов разведки проводились исследования с целью решения следующих традиционных задач: а) изучения естественноисторических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторожде-

ния; б) прогнозной оценки возможных источников обводнения горных выработок и их количественной характеристики; в) оценки источников водоснабжения будущего предприятия; г) прогнозной оценки горнотехнических условий промышленной обработки объекта.

Кроме того, в стадию поисков и разведки рудных месторождений необходимо включить следующие новые задачи: а) выполнить прогнозную оценку влияния будущей многолетней эксплуатации всех основных объектов горнорудного предприятия на возможное изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в целом и в связи с этим разработать рекомендации по рациональному размещению объектов предприятия; б) разработать гидрогеологические основы мероприятий по охране и защите окружающей среды (в том числе наиболее рациональную схему осушения горных разработок); в) представить рекомендации по максимальному практическому использованию рудничных вод [23].

Суть новых задач состоит в том, чтобы еще в стадию поисков и разведки месторождения представить в целом достаточно обоснованную характеристику возможного развития техногенных процессов и техногенеза будущего промышленного освоения объекта, произвести оценку их негативного влияния на возможное изменение свойств окружающей среды, а также разработать рекомендации по ее защите.

Вторым весьма важным требованием, вытекающим из содержания новых задач в области охраны окружающей среды, является необходимость одновременного проведения гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в стадию разведки рудных месторождений по единой программе, единой методике и одним и тем же коллективом исполнителей. Объясняется это тем, что формирование техногенеза и его негативное влияние на изменение свойств окружающей среды определяются условиями взаимодействия техногенных гидрогеологических и инженерно-геологических процессов. Прогнозную оценку условий формирования техногенеза поэтому можно произвести только на базе совместного анализа результатов гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на рудных месторождениях. В подстадию детальной разведки, когда довольно четко определяются контуры рудного месторождения, его масштабы и структура будущего предприятия, весь рациональный комплекс гидрогеологических и инженерно-геологических исследований крайне необходимо выполнять в тесной увязке с предварительными проектными проработками промышленного его освоения, которые должны быть рассмотрены с заинтересованными проектными организациями.

Таким образом, исходная информация, полученная по результатам комплексных исследований, проведенных в стадию поисков и разведки месторождений, должна служить надежной гидрогеологической и инженерно-геологической основой не

только для проектирования основных объектов будущего предприятия, но и для проектирования мероприятий по охране и защите окружающей среды обитания и производственной деятельности человека (гидрогеологические аспекты проблемы). Очень важно, чтобы рекомендации по охране и защите окружающей среды, разработанные в стадию разведки месторождения, нашли свое отражение в предпроектных проработках.

Для успешного решения новых задач в области гидрогеологии и инженерной геологии рудных месторождений, возникающих в стадию разведки, большое значение имеет Инструкция Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР). Действующая в настоящее время Инструкция в этом отношении несколько устарела, она не отвечает новым требованиям народного хозяйства. Поэтому возникла необходимость переработать Инструкцию, уточнить ее содержание и требования, четко определить в ней рациональные условия промышленной отработки рудных месторождений и охраны окружающей среды.

В стадию проектирования и строительства горнорудного предприятия основными задачами являются выбор и обоснование для данных конкретных условий: а) наиболее рациональной системы промышленной отработки рудного месторождения и схемы осушения горных разработок с учетом отмеченных выше требований; б) рационального размещения по площади всех основных объектов, входящих в структуру горнорудного предприятия; в) мероприятий по охране и защите окружающей среды.

Перечисленные задачи являются по своему содержанию комплексными, однако все они имеют четко выраженные гидрогеологические и инженерно-геологические основы.

Наиболее существенной и сложной проблемой в стадию проектирования и строительства является выбор и обоснование рациональных схем осушения горных разработок. В чем состоит сущность применяемых до последнего времени технологических схем осушения горных разработок при эксплуатации рудных месторождений? Прежде всего в признании того, что подземные воды на рудных месторождениях при проходке горных выработок являются «злейшим врагом», от которого горнякам необходимо избавляться всеми доступными средствами и отводить их подале за пределы горных разработок. Такое осушение горных разработок не предусматривает современных требований комплексного использования всех полезных компонентов на рудных месторождениях и мер защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов.

На современном этапе возросшего водопотребления и требований по защите окружающей среды подземные воды рудных месторождений необходимо рассматривать как ценнейшее полезное ископаемое, которое должно полностью использоваться для нужд народного хозяйства.

Изложенное выше позволяет сделать вывод о необходимости коренного улучшения технологических схем осушения горных разработок при освоении рудных месторождений. А это, в свою очередь, требует пересмотра основных направлений и содержания гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, которые целесообразно проводить на рудных месторождениях. Следовательно, осушение горных разработок на рудных месторождениях не следует рассматривать как простую инженерно-техническую задачу — любыми средствами избавиться от подземных вод и изолировать их далеко за пределы горного строительства, а как комплексную проблему, требующую создания безопасных условий отработки месторождения, а также рационального использования рудничных вод.

Практика показывает, что важно также изыскать для каждого месторождения рациональное размещение на предприятии всех других его объектов: а) сооружения для породных отвалов (гидроотвалов); б) обогатительной фабрики и хвостохранилищ; в) водозаборных сооружений; г) городской территории. Проектирование перечисленных объектов должно выполняться с учетом автономного их размещения, охраны и защиты окружающей среды, а также исключения существенного дренирующего влияния проектируемых осушительных устройств.

Как видно из изложенного, в стадию проектирования и строительства горнорудного предприятия появляется необходимость проведения на отдельных объектах дополнительных, более детальных гидрогеологических и инженерно-геологических работ применительно к конкретным требованиям проектных проработок. Очень важно в подстадию строительства горнорудного предприятия постоянно проводить авторский гидрогеологический надзор за квалифицированным исполнением строительными организациями проектных проработок в части осушительных устройств, строительства водозабора, мероприятий по защите горных работ от подземных и поверхностных вод, охраны окружающей среды, подготовки площадки для складирования пустых пород, строительства хвостохранилища и города.

Наиболее длительной по времени является стадия эксплуатации рудных месторождений. В эту стадию деятельность гидрогеологической службы должна обеспечить: а) безопасные условия промышленной отработки месторождения; б) высокую производительность труда; в) охрану окружающей среды обитания и производственной деятельности человека от негативного влияния техногенеза.

Основными направлениями гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в эту стадию являются: а) комплексная гидрогеологическая документация всех видов горно-подготовительных и горнодобывающих работ; б) комплексное стационарное изучение режима подземных и поверхностных вод, а также техногенных процессов на участках горных разработок, действующих осушительных устройств, водозаборных сооруже-

ний, хвостохранилищ, складирования породных отвалов и городской территории. Весь комплекс работ должен проводиться с целью постоянного надзора за эксплуатацией всех объектов предприятия, поддержания безопасных условий их работы, предупреждения различных аварийных ситуаций, разработки дополнительных мер защиты окружающей среды, а также проверки достоверности гидрогеологических и инженерно-геологических прогнозов, заложенных в проектах отработки рудного месторождения, на базе результатов исследований, проведенных в стадию разведки месторождения.

Комплексное стационарное изучение нарушенных гидрогеологических и инженерно-геологических условий в процессе эксплуатации рудных месторождений так же, как и в предыдущем случае, необходимо проводить по единой программе и единой методике. При этом в каждом конкретном случае важно определить наиболее действенные формы организации на предприятии гидрогеологической службы.

Следует особо подчеркнуть необходимость продолжения комплексных стационарных исследований на рудных месторождениях в стадию их консервации. Практика показывает, что в эту стадию, когда отсутствуют элементарные режимные гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения, может быть нанесен определенный ущерб окружающей среде. Замечено, что техногенные процессы сдвижения горных пород в зоне обрушения продолжают развиваться и в зоне отработки месторождения после завершения добычных работ на объекте. С этим связана дальнейшая деформация поверхности, подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений. Наблюдается также дальнейшее загрязнение подземных вод на участках законсервированных бассейнов-накопителей пристоков или участках складирования пустых пород, где развиваются процессы ветровой эрозии, приводящие к загрязнению окружающей среды. В настоящее время на многих законсервированных рудных объектах не проводится никаких наблюдений (существует только весьма примитивное ограждение устьев отработанных штолен, шахт и карьеров), что в принципе противоречит современным требованиям охраны окружающей среды. В связи с этим необходимо продолжить на рудных объектах, хотя бы в небольшом объеме, комплексные исследования в стадию их консервации (сохранить принцип преемственности) с целью охраны окружающей среды и обоснования рекультивации техногенного ландшафта.

На различных стадиях изучения и освоения рудных месторождений необходимо обеспечить: а) безопасные условия отработки месторождений; б) высокую производительность труда; в) рациональное использование рудничных вод; г) охрану и защиту окружающей среды в зоне влияния горнорудного предприятия.

Классификация основных типов подземных вод

В рассматриваемой проблеме целесообразно изложить основные вопросы гидрогеологии рудных месторождений и прежде всего охарактеризовать общие закономерности в условиях водоносности коренных, в том числе рудовмещающих, пород и классификацию основных типов подземных вод, распространенных на рудных объектах, применительно к оценке основных источников формирования водопритоков в горные выработки.

В процессе эксплуатации рудных месторождений были изучены условия водоносности следующих литологических разностей коренных пород: карбонатных, интрузивных (гранитов, гранодиоритов, сиенитов и т. д.), осадочных терригенных и метаморфических пород (аргиллитов, песчаников, туфопесчаников, сланцев и т. д.).

Области распространения рудных месторождений в СССР в гидрогеологическом отношении характеризуются широким развитием трещинно-грунтовых и трещинно-жильных вод, приуроченных к коренным породам различного литологического состава. Реже (главным образом в платформенных условиях) на месторождениях распространены пластовые воды артезианского типа напорных горизонтов.

Исследованиями было установлено, что определяющими факторами формирования подземных вод в коренных породах являются мелкая трещиноватость регионального типа, степень дислоцированности пород и их тектоническая нарушенность, а для карбонатных пород также их химическая активность и образование закарстованности.

Трещиноватость, как известно, присуща любым горным породам: осадочным, изверженным, метаморфическим. Для группы карбонатных пород на трещиноватость накладывается еще и закарстованность.

Наибольшая трещиноватость прослеживается на месторождениях, расположенных в горно-складчатых областях, где коренные породы неоднократно подвергались интенсивным деформациям. Довольно отчетливо трещиноватость прослеживается и в горных породах, слагающих платформенные области.

Под малой трещиноватостью горных пород принято понимать совокупность имеющихся в них мелких по размерам трещин, не подвергающихся картированию даже при самых детальных геологических съемках. Однако мелкая трещиноватость как структурный элемент является важным фактором в оценке истории и условий формирования горных пород.

Наряду с этим в горных породах нередко (особенно в горно-

складчатых областях) проявляются более крупные трещины локального типа — зоны дробления, брекчирования, усиленной трещиноватости, приуроченные к крупным и мелким тектоническим нарушениям различной глубины заложения. Эти структуры обычно имеют очень сложное строение. Наконец, как было отмечено, для карбонатных пород характерным является различная степень их химической активности, с которой связано формирование закарстованности, наложенной на трещиноватость. В карбонатных породах часто распространены мелкая закарстованность (регионального типа), как бы рассеянная по всей мощности пласта, и крупные карстовые полости, локализуемые при определенных структурных условиях на узких участках по зонам тектонических нарушений или по зонам межформационных подвижек.

Указанные структурные элементы коренных пород создают благоприятную среду для проникновения (инфлюации) атмосферных осадков, движения, накопления и естественной разгрузки подземных вод, а также предопределяют условия взаимосвязи их с поверхностными водами.

Следовательно, своеобразные условия образования структурных элементов коренных пород определяют основные закономерности формирования и накопления в них различного типа подземных вод. При этом четко устанавливается, что для различных по литологическому составу коренных пород, в зависимости от их физико-механических свойств, химической активности, отношения к тектоническим процессам и других факторов, формирование структурных элементов происходит по-разному. Этим и объясняются отличительные особенности в условиях водоносности некоторых литологических разностей коренных пород [23].

Особое значение в условиях водоносности коренных пород имеют тектонические нарушения, с которыми обычно связаны повышенная водообильность и более глубокая циркуляция подземных вод. В горных выработках повышенная водообильность по зонам тектонических нарушений четко формируется в виде очаговых выходов рудничных вод. Тектоническая нарушенность коренных пород часто бывает представлена мощными зонами брекчирования и дробления или усиленной трещиноватости (например, в группе интрузивных пород до 300—500 м), т. е. такой физической средой, которая является весьма благоприятной для движения и накопления трещинно-жильных подземных вод. В толще карбонатных пород в зонах дробления тектонических нарушений часто распространены крупные открытые карстовые полости — среда очень благоприятная для формирования потоков трещинно-карстовых вод.

Что касается группы осадочных и метаморфических терригенных пород, которые в горно-складчатых областях имеют сложно-дислоцированное строение, то в них по своим природным условиям в зонах тектонических нарушений часто формируются зоны

дробления пород малой мощности (первые сантиметры) или глинки трения и скольжения — среда менее благоприятна для накопления трещинно-жильных подземных вод.

На рудных месторождениях, расположенных в платформенных областях и приуроченных к нижнему структурному этажу платформы (например, железорудные и бокситовые месторождения КМА), в надрудной толще пород распространены напорные водоносные горизонты пластовых вод артезианского типа.

Для дальнейших исследований целесообразно рассмотреть классификацию подземных вод применительно к гидрогеологическим условиям рудных месторождений горно-складчатых и платформенных областей. Она должна быть применима для решения практических задач по оценке источников формирования возможных водопритоков в горные выработки, а также для выбора принципиальных схем осушения и защиты горных разработок от подземных вод.

В основу классификации положены следующие факторы:

а) формирование структурных элементов — трещиноватости и закарстованности и их роль в условиях водоносности коренных пород; б) глубина распространения и форма залегания подземных вод; в) практическое значение выделенных типов подземных вод для оценки степени обводнения месторождения и оценки как источника водоснабжения предприятия.

В соответствии с этими факторами среди подземных вод районов рудных месторождений (для аридной и гумидной областей) можно выделить пять основных типов подземных вод, краткая характеристика которых приведена в табл. 1.

Грунтовые воды делювиальных образований имеют широкое распространение в районах рудных месторождений. Чаще всего это слабо выраженный по мощности водоносный горизонт, приуроченный к суглинкам, пескам и супесям. В фильтрационном отношении характеризуется высокой неоднородностью; степень обводнения обычно незначительная (удельный дебит скважин изменяется от 0,01 до 0,05 л/с), поэтому водопритоки в выработках обычно незначительные. При вскрытии этого горизонта в уступах карьеров проявляются процессы оползания и оплывания, поэтому применяются обычные способы поуступного осушения с целью создания устойчивости уступов карьера.

Грунтовые воды аллювиальных образований речных долин — достаточно хорошо изученный тип подземных вод, также имеющих довольно широкое распространение на рудных месторождениях. Эти пресные воды хорошего питьевого качества формируют в песчано-галечниковых отложениях подземный поток. Грунтовые воды в речных долинах, как правило, имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами. В мощной толще пород (до 80—120 м) формируются значительные естественные ресурсы и запасы грунтовых вод. Как показывает опыт промышленного освоения месторождений, обводнение горных разработок на некоторых рудных объектах нередко фор-

ТАБЛИЦА 1

Классификация подземных вод рудных месторождений (для аридной и гумидной зон СССР)

Тип подземных вод	Водовмещающие породы	Мощность водоносного горизонта, м	Условия взаимодействия с поверхностными водами	Мероприятия по защите от воды
1. Четвертичных отложений:				
а) грунтовые воды делювиальных образований;	Суглинки, пески, супеси	От 1 до 15	Нет связи	Осушение водоносного горизонта
б) грунтовые воды аллювиальных отложений	Песчано-галечниковые	От 10 до 150	Тесная гидравлическая связь	Осушение водоносного горизонта, отвод или изоляция поверхностных вод в пределах горных выработок
2. Трещинно-грунтовые	Трещиноватые коренные породы (интрузивные, терригенные, эффузивные) различного литологического состава	От 20 до 100	Нет связи	Внутрикарьерный или внутришахтный водоотлив
3. Трещинно-жильные	Зоны дробления вмещающих пород или усиленной трещиноватости тектонических нарушений	От 0,2—0,5 до 200—300	В некоторых случаях проявляется связь с грунтовыми и поверхностными водами	Внутришахтный водоотлив
4. Трещинно-карстовые	Трещиноватые и закарстованные карбонатные породы (известняки, мраморы, доломиты, мергели)	От 100—300 до 1500—2000	Тесная гидравлическая связь	Предварительное и эксплуатационное водопонижение системой внешних и внутришахтных осушительных устройств
5. Межпластовые напорного типа (пластово-поровые и пластово-трещинные)	Различного литологического состава трещиноватые и поровые породы	От 10—20 до 100—150	В некоторых случаях проявляется связь через взаимодействие с грунтовыми водами	Защита рациональной системой внешних и внутрикарьерных осушительных устройств

мирует основные водопритоки. На действующих объектах в связи с этим часто применяются различные способы совместной защиты горных разработок от грунтовых и поверхностных речных вод: отвод или изоляция поверхностных вод, осушение водоносного горизонта и др. На многих горнорудных предприятиях на базе использования ресурсов грунтовых вод организовано хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение.

Учитывая изложенное выше, грунтовые воды аллювиальных образований на всех стадиях изучения и освоения рудных месторождений должны быть внимательно изучены как с позиции оценки их роли в обводнении горных выработок, так и с точки зрения использования в качестве надежного источника хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

К трещинно-грунтовым относятся подземные воды, распространенные в верхней части геологического разреза различного литологического состава рудовмещающих коренных терригенных и интрузивных пород, в пределах зоны выветривания или усиленной трещиноватости регионального типа, где они формируют слабо выраженные в плане бассейны. Нижней границей распространения трещинно-грунтовых вод являются те же коренные породы, подстилающие зону выветривания, где открытая трещиноватость настолько затухает, что породы становятся практически водонепроницаемыми.

Области питания и распространения трещинно-грунтовых вод пространственно, как правило, совпадают. Местная гидрографическая сеть для трещинно-грунтовых вод играет роль естественных дрен, поэтому общее направление их движения в естественных условиях направлено в сторону гидрографической сети. Трещинно-грунтовые воды, таким образом, формируются в самой верхней части зоны активного подземного стока.

Естественные ресурсы и запасы трещинно-грунтовых вод являются ограниченными и рассеяны по площади бассейна. Они принимают участие в обводнении горных выработок на рудных месторождениях главным образом при промышленной отработке верхних рудных горизонтов и оказывают свое влияние на глубины не более 80—120 м. Ниже зоны выветривания региональная трещиноватость резко затухает, и горные породы, по существу, являются необходимыми. По химическому облику это воды пресные, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого состава.

Трещинно-жильные воды приурочены к зонам крупных и мелких тектонических нарушений различной глубины их заложения и различного по сложности строения.

Трещинно-жильные воды формируют в горных породах линейно-вытянутые потоки. Водоносные зоны эти не изолированы от окружающей геологической среды, а гидравлически связаны с водоносной системой региональной трещиноватости рудовмещающих пород (с трещинно-грунтовыми, а также с грунтовыми водами аллювиальных отложений речных долин).

Как показали исследования, трещинно-жильные воды на рудных месторождениях обладают напором и имеют область питания, расположенную далеко за пределами горных разработок, их температурный режим не подвержен резким колебаниям и температура воды превышает среднегодовую температуру воздуха.

Степень водообильности пород в зонах тектонических нарушений зависит от их строения и сложения — мощности зон дробления, или брекчирования, степени водопроницаемости пород и других факторов. Наблюдениями в горных выработках было отмечено, что наибольшая степень водообильности зон тектонических нарушений отмечается в карбонатных и интрузивных породах, в пределах которых в горных выработках происходит сосредоточенная очаговая разгрузка до 150—300 м³/ч. В терригенных породах водоносность зон тектонических нарушений обычно слабая — не превышает на отдельных участках 10—30 м³/ч.

Местная речная сеть на рудных месторождениях обычно является естественной дренажной для трещинно-жильных вод, при этом часть естественной их разгрузки наблюдается непосредственно в аллювиальные песчано-галечниковые отложения.

Наблюдения и гидрогеологическая документация горных выработок показывают, что в большинстве случаев трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений являются одним из основных источников обводнения рудных месторождений. При проходке горных выработок без применения опережающего разведочного бурения гидрогеологических скважин, трещинно-жильные воды могут формировать внезапные прорывы, резко увеличивая разовые водопритoki в шахтах и горизонтальных выработках.

Трещинно-карстовые воды на рудных месторождениях присущи только группе рудовмещающих карбонатных пород (известнякам, мраморам, доломитам, мергелям). На всех изученных рудных месторождениях на площади трещиноватых и закарстованных карбонатных пород формируется бассейн трещинно-карстовых вод, что указывает на хорошую общую гидравлическую связь между отдельными зонами усиленной трещиноватости и закарстованности, к которым обычно приурочены сосредоточенные потоки.

Формирование трещиноватости и закарстованности в карбонатных породах зависит от ряда факторов, главными из которых являются:

- 1) условия стратификации карбонатных пород (в грубо- и тонкослоистых карбонатных породах структурные элементы развиваются по-разному);
- 2) степень дислоцированности и тектонической нарушенности (высокая степень трещиноватости и закарстованности отмечается в сложнодислоцированных карбонатных породах);
- 3) степень химической активности в карбонатных породах высокой химической активности (содержание CaCO₃ до 70—80 %, закарстованность обычно повышенная).

Перечисленные выше основные факторы определяют различие в условиях формирования структурных элементов карбонатных пород для горно-складчатых и платформенных областей.

Глубина циркуляции трещинно-карстовых вод зависит от мощности карбонатных пород и условий образования их структурных элементов. На некоторых рудных месторождениях трещинно-карстовые воды были обнаружены на глубинах до 1300—1800 м. Исследования рудных месторождений показали, что трещинно-карстовые воды имеют свои специфические особенности в условиях формирования, распространения и связи с поверхностными водами речной сети.

Следует подчеркнуть, что широко распространенная трещиноватость и закарстованность карбонатных пород придает им высокие коллекторские свойства. Поэтому в бассейнах трещинно-карстовых вод всегда формируются относительно крупные естественные ресурсы и естественные запасы, что в значительной степени усложняет промышленную обработку рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам.

При изучении условий водоносности карбонатных пород следует обратить внимание на выявление степени фильтрационной их неоднородности. Установленные в этом отношении закономерности могут позволить более квалифицированно и надежно прогнозировать безопасные условия проходки горных выработок. По причине низкой степени изученности фильтрационной неоднородности очень часто происходят внезапные прорывы трещинно-карстовых вод в подземные горные выработки и нередко приводят к затоплению шахты в целом, что наносит большой ущерб горно-добывающей промышленности, снижая общий ритм работы предприятия. Для создания безопасных условий проходки горных выработок целесообразно осуществлять опережающее бурение разведочно-дренажных скважин непосредственно из системы подземных горных выработок с целью предварительного снижения напоров трещинно-карстовых вод.

Межпластовые воды обычно приурочены к определенному пласту, залегающему между водонепроницаемыми разделяющими горизонтами. Циркуляция подземных вод во вмещающих породах может происходить в поровой (межпластовые поровые воды) или в регионально-трещиноватой среде (межпластовые трещинные воды).

На рудных месторождениях горно-складчатых областей они встречаются редко. Обычно это слабонапорные воды, имеющие ограниченные естественные ресурсы и запасы. Поэтому сложностей в связи с ними при проходке горных выработок не возникает. Наиболее широко межпластовые воды распространены на рудных месторождениях, где они формируют целый водоносный комплекс напорных вод в надрудной толще пород.

В заключение краткой характеристики выделенных типов подземных вод отметим некоторые особенности формирования их химического состава. В подавляющем большинстве случаев

в верхних горизонтах, а иногда на всю глубину промышленной отработки рудных месторождений на объектах в естественных условиях формируются пресные подземные воды (всех выделенных типов) гидрокарбонатно-кальциевого, реже гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого состава. Они приурочены к зоне активного подземного стока.

На некоторых объектах с глубиной четко отмечается повышение общей минерализации до 12—30 г/л и подземные воды приобретают сульфатно-кальциево-натриевый состав; на некоторых месторождениях в карбонатных рудовмещающих породах распространены рассолы с минерализацией до 120—170 г/л — хлоридно-кальциевого и хлоридно-натриевого состава.

В условиях длительной эксплуатации почти на всех объектах под влиянием техногенных процессов окисления происходит увеличение общей минерализации до 1—5 г/л и подземные воды приобретают сульфатный профиль. Однако на некоторых объектах таких заметных изменений химического состава подземных вод в процессе длительной эксплуатации не наблюдается.

Закономерности в условиях водоносности коренных пород

Особенности формирования структурных элементов различных литологических формаций горных пород определяют условия формирования и накопления в них подземных вод и их связь с поверхностными водами. Рассмотрим вначале условия водоносности группы интрузивных, метаморфических, а затем и карбонатных пород.

Как известно, интрузивные образования объединяют большую группу пород с весьма разнообразным их петрографическим составом. В гидрогеологическом отношении на рудных месторождениях относительно широко распространенными и хорошо изученными являются граниты, гранодиориты и сиениты. На рис. 1 представлена принципиальная схема, характеризующая условия водоносности этой группы горных пород.

Как видно из схемы, в условиях водоносности интрузивных пород четко отмечается вертикальная гидрогеологическая зональность.

Первая гидрогеологическая зона характеризуется довольно широким распространением трещинно-грунтовых вод, приуроченных к породам верхней части разреза — зоне усиленной (процессами выветривания) мелкой трещиноватости.

Региональная мелкая трещиноватость, относительно равномерно поражая интрузивные породы в горизонтальном направлении, создает благоприятные условия для формирования бассейна трещинно-грунтовых вод. Естественные ресурсы и запасы трещинно-грунтовых вод в бассейнах в большинстве случаев ограничены и рассредоточены по площади. Местная гидрографическая сеть, расчленяющая поверхность интрузивных пород,

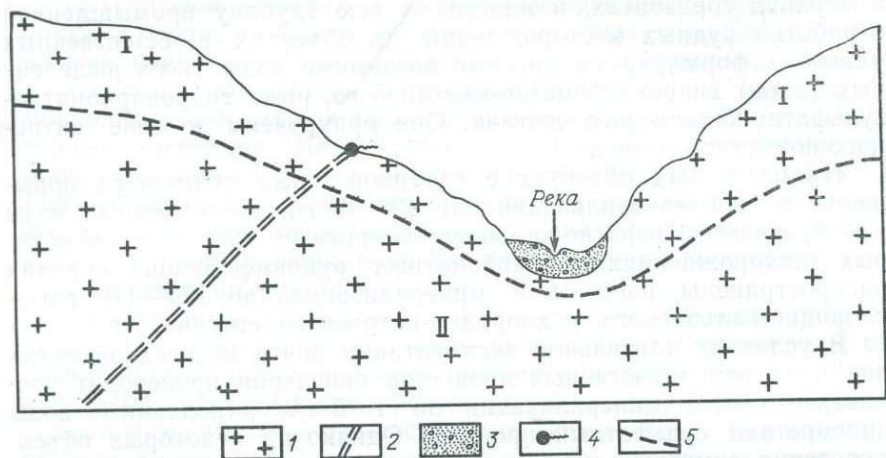


Рис. 1. Схема условий водоносности интрузивных пород.

1 — интрузивные породы; 2 — тектонические нарушения; 3 — аллювиальные песчано-гравелистые образования; 4 — родник; 5 — границы зон
 Зоны распространения вод: I — трещинно-грунтовых; II — трещинно-жилых

играет в гидрогеологическом отношении роль естественных дренажей. Поэтому по склонам речных долин часто выходят родники, как правило, с небольшими расходами и большинство из них с весьма переменным режимом дебита. Тесная гидравлическая связь поверхностных и трещинно-грунтовых вод объясняется еще и тем, что сама гидрографическая сеть на площади интрузивных пород развивается преимущественно по направлениям региональной трещиноватости. Эта зависимость отчетливо наблюдается на всех рудных месторождениях, приуроченных к интрузивным породам (Алмалыкском, Каджаранском, Сорском и др.).

Мощность зоны усиленной трещиноватости в интрузивных породах на изученных рудных месторождениях изменяется в широких пределах и зависит от возраста рельефа, степени его расчлененности и т. д. Например, на одном рудном месторождении в Сибири мощность зоны усиленной трещиноватости, с которой связано формирование бассейна трещинно-грунтовых вод, достигает 30—40 м; на рудных объектах Узбекистана и Армении — 60—90 м.

Гипсометрически ниже первой зоны (см. рис. 1) степень открытости мелкой трещиноватости по глубине постепенно затухает, затухает и степень обводненности интрузивных горных пород. Подземные горные выработки, пройденные ниже первой гидрогеологической зоны, практически становятся сухими, в них наблюдаются водопитоки только по зонам тектонических нарушений. Нижняя граница верхней зоны проходит примерно на отметках базиса эрозии местной гидрографической сети.

Учитывая, что естественные ресурсы и запасы трещинно-грунтовых вод интрузивных пород являются ограниченными, водопритоки в горные выработки, пройденные в первой от поверхности гидрогеологической зоне, обычно являются незначительными. Например, суммарный водоприток трещинно-грунтовых вод на одном из карьеров в Узбекистане составлял всего 40—60 м³/ч. Осушение карьера в связи с этим производилось обычным способом, под защитой внутрикарьерного водоотлива. В связи с этим гидрогеологическое влияние на изменение окружающей среды на объекте было весьма слабым (влияние при осушении распространяется на площадь всего 0,5—1 км²).

На одном из рудных месторождений Сибири водопритоки в карьер при вскрытии трещинно-грунтовых вод составляли всего 50—80 м³/ч. При таких водопритоках практически не потребовалось никаких специальных мер по защите окружающей среды. Незначительная степень обводнения горных выработок, пройденных в верхней гидрогеологической зоне, отмечается и по другим рудным месторождениям.

Вторая гидрогеологическая зона (см. рис. 1) характеризуется спорадическим распространением собственно трещинно-жильных вод, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Горные выработки в связи с этим имеют весьма неравномерную степень обводнения — при пересечении непосредственно зон тектонических нарушений обычно вскрываются относительно большие водопритоки трещинно-жильных вод (от 20—30 до 60 м³/ч), а между тектоническими нарушениями водопритоки в горные выработки не отмечается. Тектонические нарушения в структурном отношении очень часто представлены зонами брекчирования, дробления и усиленной трещиноватости мощностью от 0,2—0,3 до 1—5 м, реже более 5—10 м. Режимными наблюдениями, проведенными на горнорудных предприятиях, было установлено постепенное уменьшение во времени водопритоков трещинно-жильных вод после их вскрытия в подземных горных выработках.

Отмечается постепенное истощение естественных ресурсов и запасов трещинно-жильных вод.

На некоторых рудных месторождениях Кавказа и Сибири в зонах тектонических нарушений вскрываются трещинно-жильные подземные воды, насыщенные углекислым газом. Эти воды обладают высокими бальнеологическими свойствами.

Выявленная закономерность в условиях водоносности интрузивных пород имеет большое значение для оценки общей степени обводненности горных выработок и степени сложности их проходки при эксплуатации рудных месторождений. В этом отношении практика показывает, что проходку всех систем горных выработок можно осуществлять обычным способом, не прибегая к спецспособам защиты горных работ от подземных вод; осушение горных разработок вполне возможно проводить под защитой внутришахтного или внутрикарьерного водоотлива.

Отмечаются своеобразные условия водоносности группы сланцевых метаморфических пород. В эту группу горных пород входят собственно сланцевые породы, аргиллиты, а также группа эффузивных пород, преобразованных процессами метаморфизма в серицитовые и хлорит-серицитовые сланцы, широко распространенные на медных месторождениях Урала, а также на рудных месторождениях Иртышской зоны смятия (северо-восточная часть Казахстана).

На указанных рудных провинциях различные сланцы слагают мощные толщи рудовмещающих пород — зеленокаменные породы на Урале и сланцевые породы зоны смятия в Казахстане. Для этой группы пород характерным является тонкая слоистость (сланцеватость), высокая степень анизотропии и пластичности. Эти свойства обуславливают образование в них мелкой и весьма сложной складчатости при дислокациях. Мелкая открытая трещиноватость регионального типа распространена главным образом в породах по напластованию. Зона усиленной выветриванием трещиноватости приурочена к самой верхней части разреза. Глубже 10—20 м открытая трещиноватость очень быстро затухает; уменьшается и степень их обводнения.

Сланцевые породы, как это следует из документации горных выработок, довольно часто поражаются тектоническими нарушениями. Однако, в отличие от интрузивных пород, в сланцах тектонические нарушения имеют небольшую мощность (первые сантиметры, реже 10—20 см) и часто представлены «глинкой трения», сопровождаемой повышенной трещиноватостью во вмещающих породах.

Такие условия формирования структурных элементов в группе сланцевых пород определяют их гидрогеологические особенности. В вертикальном разрезе, как и для интрузивных пород, в сланцах отмечается гидрогеологическая зональность. В верхней зоне (зона усиленной трещиноватости) мощностью 10—20 м, реже 30—40 м (главным образом на медных месторождениях Урала) формируются трещинно-грунтовые воды, а во второй — трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений.

Естественные ресурсы и запасы трещинно-грунтовых и трещинно-жильных вод сланцевых пород являются весьма ограниченными. Водопритоки в систему горных выработок на некоторых рудных месторождениях Урала составляют 20—30, реже 50—80 м³/ч. Вблизи влияния поверхностных речных вод водопритоки могут возрасти до 200—350 м³/ч (Лениногорское, Тишинское и др.). Вблизи некоторых рудных районов западной части Узбекистана сохранились древние кяризы — искусственные подземные дрены, пройденные в верхней гидрогеологической зоне сланцевых пород, на глубинах 10—15 м. Некоторые кяризы протяженностью 10—15 км имеют расход до 100 м³/ч.

Сланцевые породы обладают скрытой текучестью. При естественной влажности эти породы обладают сравнительной устойчивостью в подземных горных выработках. Однако, при повы-

шенном увлажнении, которое может быть, например, получено под влиянием использования технической воды в подземных горных выработках (при мокром бурении шпуров), сланцы очень быстро теряют свою связность, набухают, а затем приобретают свойства текучести. При постоянном техногенном обводнении сланцы в тупиковых подземных горных выработках формируют пульпообразную текучую массу, излишнее скопление которой может вызвать внезапный прорыв.

Установленные таким образом общие закономерности в условиях водоносности сланцевых пород, их скрытотекучие свойства, а также накопленный опыт эксплуатации некоторых рудных месторождений позволяют сделать следующие выводы.

1. Степень обводнения горных выработок при их проходке в сланцевой рудовмещающей толще является незначительной, и в принципе можно было бы применять обычные способы их осушения (под защитой внутришахтного водоотлива). Однако, с целью создания безопасных условий отработки объектов и обеспечения высокой производительности труда (особенно при карьерной отработке объектов) требуется постоянное специальное опережающее осушение рудных горизонтов с помощью системы подземных дренажных горных работ в сочетании со сквозными фильтрами, пройденными с поверхности. Скважинные водопонижения и осушение в таких гидрогеологических условиях являются малоэффективными.

2. Учитывая скрытотекучие свойства сланцевых пород, в процессе эксплуатации месторождений необходима тщательная изоляция их от притоков подземных и технических вод в горные выработки. Это мероприятие должно исключать излишнее увлажнение глинистых пород, с которым связано свойство текучести.

3. Ввиду незначительной степени обводнения группы сланцевых пород осушение горных разработок на месторождениях оказывает слабое влияние на изменение окружающей среды (на площади примерно 1—1,5 км²).

Водоносность группы карбонатных пород имеет свои закономерности. Есть целая группа рудных месторождений, которые в геологическом отношении характеризуются относительно широким распространением карбонатных пород — известняков, мраморов, доломитов. К таким месторождениям можно отнести группу бокситовых объектов Урала, некоторые рудные месторождения Казахстана, Сибири и др. Особенности условий их водоносности определяют и особенности гидрогеологии рудных объектов, способы проходки горных выработок, их осушение, защиту горных разработок от подземных вод, а также защиту окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов.

В горно-складчатых областях карбонатные породы на площади рудных месторождений обычно сложнислоцированы и имеют значительные мощности, слагая целую систему складок

второго и третьего порядков; достигают общей мощности более 1500—2000 м.

В пределах платформенных областей на площадях некоторых рудных месторождений карбонатные породы имеют более спокойное залегание, не дислоцированы, а мощности их изменяются от 60—80 до 150 м. Различия структурных условий залегания карбонатных пород на рудных месторождениях горно-складчатых и платформенных областей обуславливают различную их водоносность [23, 26].

Как отмечалось выше, отличительная особенность структурных элементов карбонатных пород от других литологических разностей состоит в том, что средой для накопления вод служит здесь не только система региональной и локальной трещиноватости, но и система закарстованности. Первичной в карбонатных породах в этом отношении является трещиноватость; вторичной — закарстованность. Эти два структурных элемента и создают высокие коллекторские свойства карбонатных пород. Исследования, проведенные в подземных горных выработках, показали, что степень трещиноватости и закарстованности известняков зависит, как отмечалось, от целого ряда факторов: химической активности, степени дислоцированности, текстуры, структуры и др. Всю совокупность структурных элементов карбонатных пород по их значению в гидрогеологии целесообразно подразделить на две группы — по трещиноватости и закарстованности: а) региональную; б) локальную. Первая группа представлена мелкой трещиноватостью и мелкой формой закарстованности (кавернозность и т. д.). Эти элементы относительно равномерно рассеяны очень часто по всей толще карбонатных пород (напластованию и разрезу). Вторая группа структурных элементов обычно локализуется в пределах определенных зон тектонических нарушений, по зонам межформационных тектонических подвижек или на участках пересечения различных систем трещин.

К этой группе следует отнести средние и крупные различной формы карстовые полости.

Условия водоносности карбонатных пород для месторождений, расположенных в горно-складчатых областях, характеризуются следующими закономерностями.

1. На площади их развития, как правило, формируется бассейн трещинно-карстовых вод; при осуществлении горных разработок на месторождениях обычно образуется единая депрессионная воронка, широко развивающаяся по площади.

2. В плане и разрезе в карбонатных породах отмечается высокая степень фильтрационной неоднородности; именно поэтому в подземных горных выработках наблюдается весьма неравномерное их обводнение. Наибольшие водопритоки формируются на участках пересечения горными выработками трещиноватости и закарстованности локального типа. Нередко между зонами локальной трещиноватости горные выработки являются сухими,

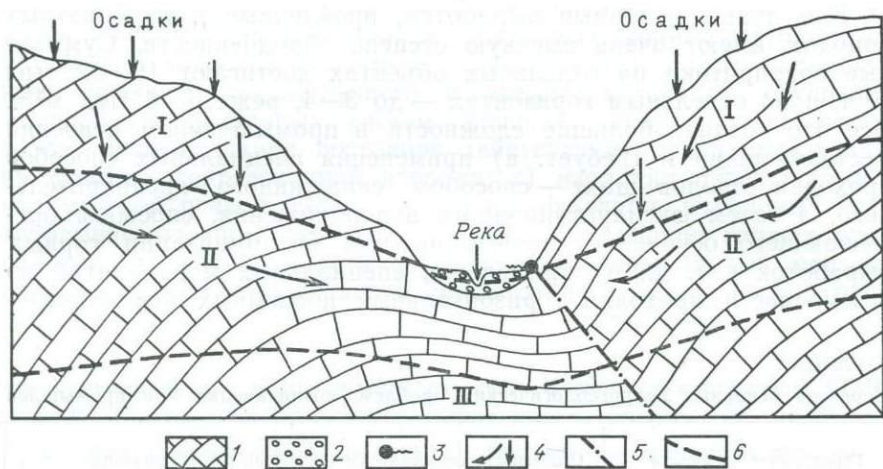


Рис. 2. Схема вертикальной гидрогеологической зональности в карбонатных породах.

1 — известняки; 2 — галечники; 3 — родники; 4 — направление стока подземных вод; 5 — тектоническое нарушение; 6 — границы гидродинамических зон.

Зоны: I — инфлюэции и транзита трещинно-карстовых вод; II — активного подземного стока и накопления основных естественных ресурсов и естественных запасов трещинно-карстовых вод; III — замедленного подземного стока и накопления трещинно-карстовых вод повышенной минерализации

что четко фиксируется в горных выработках на ряде месторождений (бокситовые месторождения Урала и др.).

3. В разрезе карбонатных пород формируется вертикальная гидрогеологическая зональность, как это показано на рис. 2. Естественные ресурсы и естественные запасы трещинно-карстовых вод обычно являются значительными и формируются главным образом во второй зоне — зоне интенсивного подземного стока; именно в этой зоне проходка горных выработок является наиболее сложной и требует применения специальных мер защиты.

4. Трещинно-карстовые воды карбонатных пород, как правило, имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами речных долин. В верхней части бассейна уровни трещинно-карстовых вод залегают часто на больших глубинах (до 20—30 м), и поэтому четко отмечаются фильтрационные потери поверхностных вод в карбонатных породах. В нижней части бассейна наблюдается частичная естественная разгрузка трещинно-карстовых вод в виде обычно крупных родников.

Проведенные выше основные закономерности в условиях водоносности карбонатных пород, по существу определяют горно-технические условия промышленной отработки рудных месторождений. Горные разработки имеют два основных источника обводнения — трещинно-карстовые и поверхностные воды речной сети.

Как правило, горные выработки, пройденные в карбонатных породах, имеют очень высокую степень обводненности. Суммарные водопритоки на отдельных объектах достигают 16—22 тыс. м³/ч, а по отдельным горизонтам — до 3—4, реже 5—6 тыс. м³/ч. Все это создает большие сложности в промышленном освоении месторождений и требует: а) применения специальных способов проходки стволов шахт — способом скважинного предварительного, а затем эксплуатационного водопонижения, способом опережающего осушения, цементации или битуминизации горных выработок и т. д.; б) применения специальных мероприятий по безопасности проходки горизонтальных подземных выработок —

ТАБЛИЦА 2

Перечень основных гидрогеологических проблем, возникающих при промышлен

Горнорудная провинция	Особенности геологического строения рудовмещающих пород
Уральская	Преимущественно сложнодислоцированные метаморфические, реже интрузивные или карбонатные породы, пораженные крупными тектоническими нарушениями
Казахстанская	Сложнодислоцированные метаморфические, карбонатные, реже интрузивные породы, часто перекрытые толщей рыхлых пород различной мощности. Породы поражены крупными тектоническими нарушениями
Средне-Азиатская	Преимущественно интрузивные, карбонатные, реже метаморфические сложнодислоцированные породы, пораженные тектоническими нарушениями
Кавказская	Сложнодислоцированные метаморфические, реже интрузивные и эффузивные породы, пораженные тектоническими нарушениями
Восточно-Сибирская	Преимущественно интрузивные, реже метаморфические породы, пораженные тектоническими нарушениями и залегающие в зоне мерзлоты различной мощности
Русской платформы	Четко прослеживаются два структурных этажа: нижний — рудовмещающие метаморфические породы сложнодислоцированы; верхний — надрудная толща горизонтально залегающих песчано-глинистых и карбонатных пород
На площади щитов (Кольский и Украинский кристаллические массивы)	Рудовмещающие осадочно-метаморфические и изверженные породы перекрываются толщей рыхлых пород

бурения опережающих разведочных и дренажных скважин, проходки специальных дренажных подземных горных выработок, устройства водонепроницаемых перемычек и т. д.; в) специальных способов опережающего и эксплуатационного осушения с помощью различных систем внешних дренажных скважин, в том числе создания постоянно действующих дренажных узлов на флангах депрессионной воронки; г) изоляции поверхностных вод местной речной сетью, а также изоляции рудничных вод, сбрасываемых на поверхность в пределах влияния горных разработок; д) необходимости осуществления специальных мер по охране и защите окружающей среды от негативного воздействия

ном освоении рудных месторождений различных горнорудных провинций СССР

Особенности гидрогеологических условий	Основные гидрогеологические проблемы
<p>Распространены трещинно-грунтовые, трещинно-жилые, реже трещинно-карстовые пресные воды, имеющие гидравлическую связь с поверхностными водами рек, озер</p>	<p>Для Северного Урала — обоснование схем осушения горных работ, охрана окружающей среды. Для Центрального и Южного Урала, кроме того, — водоснабжение предприятий</p>
<p>Распространены грунтовые, трещинно-грунтовые, трещинно-жилые, трещинно-карстовые пресные подземные воды, имеющие гидравлическую связь с поверхностными водами рек</p>	<p>Водоснабжение, особенно для центральной части Казахстана; обоснование схем осушения горных работ и охрана окружающей среды, особенно в северо-восточной и южной частях Казахстана</p>
<p>Распространены трещинно-грунтовые, трещинно-жилые пресные подземные воды</p>	<p>Основные проблемы — водоснабжение и охрана окружающей среды, в меньшей степени — обоснование схем осушения горных пород</p>
<p>Распространены трещинно-грунтовые, трещинно-жилые пресные воды, имеющие гидравлическую связь с поверхностными водами</p>	<p>Основные проблемы — водоснабжение и охрана окружающей среды; в меньшей степени — обоснование схем осушения горных работ</p>
<p>Распространены трещинно-грунтовые, трещинно-жилые воды различной минерализации, а также подмерзлотные воды</p>	<p>Преимущественно проблемы водоснабжения и охраны окружающей среды; в меньшей степени — обоснование схем осушения горных работ</p>
<p>В рудовмещающих породах распространены напорные воды повышенной минерализации; в породах надрудной толщи распространена система напорных водоносных горизонтов с пресными водами Грунтовые, пластовые и трещинно-жилые воды (пресные и минерализованные), которые гидравлически связаны с поверхностными водами рек, озер</p>	<p>Обоснование схем осушения горных пород, охрана окружающей среды и водоснабжение предприятия</p> <p>Для районов Кольского полуострова — несложные проблемы обоснования схем осушения, охрана окружающей среды и водоснабжения</p>
<p>Для районов Украинского щита — сложные проблемы осушения горных разработок и водоснабжения предприятия</p>	<p>Для районов Украинского щита — сложные проблемы осушения горных разработок и водоснабжения предприятия</p>

техногенных процессов; влияние осушения горных разработок на окружающую среду может распространяться на несколько сот квадратных километров.

Таким образом, из вышеизложенного видно, что выявленные общие гидрогеологические закономерности в условиях водоносности некоторых (основных) литологических формаций горных пород позволяют специалисту-гидрогеологу уже в стадию горнорудного строительства или начальную стадию эксплуатации рудных месторождений использовать их для оценки горнотехнических условий проходки, выбора способов защиты горных разработок от подземных и поверхностных вод. Эти закономерности позволяют заблаговременно разработать мероприятия по осушению горных разработок, охране и защите окружающей среды и т. д.

Изучение месторождений показало, что на некоторых месторождениях, расположенных в платформенных областях, отмечаются наиболее сложные условия водоносности, когда в разрезе пород распространен довольно сложный водоносный комплекс горных пород, представленный напорными водоносными горизонтами. Для общей оценки гидрогеологических условий в таких случаях целесообразно в геологическом разрезе выделять: а) толщу собственно рудовмещающих коренных пород, условия водоносности которых рассмотрены выше; б) толщу надрудных горных пород, условия ее водоносности и связь с рудовмещающими породами, поверхностными водами и атмосферой; в) подрудную толщу горных пород, условия ее водоносности и связь с водоносными горизонтами рудовмещающих пород.

В гидрогеологическом отношении в таких условиях выделяют три водоносных комплекса — надрудный, рудовмещающий и подрудный. Характеристику каждого водоносного комплекса целесообразно рассматривать отдельно с оценкой влияния каждого водоносного горизонта на промышленную отработку рудных месторождений.

Как показывает опыт, такие весьма сложные гидрогеологические условия определяют необходимость применения специальных способов проходки и защиты горных разработок от подземных вод, а также защиту окружающей среды [20].

Так, водоносные горизонты надрудной толщи должны быть изучены и охарактеризованы с целью гидрогеологического обоснования проходки шахтных стволов или вскрышных работ в случае карьерного способа эксплуатации рудного месторождения, а также выбора систем предварительного и эксплуатационного осушения объекта. Гидрогеологические данные по водоносным горизонтам рудовмещающих пород необходимы для оценки условий проходки горно-подготовительных и горнодобывающих работ, а данные подрудных водоносных горизонтов — для оценки степени их влияния на безопасность условий промышленной отработки месторождения.

В заключение главы целесообразно охарактеризовать в обоб-

шенном виде перечень основных гидрогеологических проблем, возникающих при промышленном освоении рудных месторождений, расположенных на площади различных горнорудных провинций СССР — в пределах горно-складчатых, платформенных областей и щитов. Перечень проблем определяет основные направления гидрогеологических исследований на рудных месторождениях на всех стадиях их изучения (табл. 2).

Глава 3

ГАЗОНОСНОСТЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Природная газоносность под влиянием дегазации угольных пластов

В процессе разведки и эксплуатации некоторых рудных месторождений Советского Союза наряду с большими водопритоками была обнаружена природная газоносность. Это обстоятельство несколько осложняет промышленную отработку объектов и требует принятия дополнительных мер по обеспечению безопасных условий ведения горных работ. В настоящей главе отражено предварительное обобщение материалов по газоносности некоторых рудных месторождений и дана оценка роли подземных вод в естественной дегазации горных выработок при эксплуатации рудных объектов.

Впервые интенсивная газоносность на рудном месторождении была обнаружена на одном из крупных объектов севера Советского Союза, где среди природных газов обнаружены: метан, водород, окись углерода, углекислый газ, тяжелые углеводороды и азот. Это месторождение расположено в области распространения вечной мерзлоты, мощность которой колеблется от 0 до 350 м; в долинах речной сети много сквозных таликов мощностью 150—250 м. Все горные работы в настоящее время проводятся в зоне вечной мерзлоты. Наиболее глубокие горизонты подошли близко к нижней ее границе.

В геологическом строении района принимают участие осадочные, туфогенные и изверженные породы (рис. 3). Наиболее древними являются отложения девонского возраста, представленные здесь известняками, сланцами и мергелями с прослоями гипса и ангидрита. На размытой поверхности дислоцированного девона залегает углесодержащая толща, сложенная глинистыми сланцами, песчаниками, аргиллитами и пластами угля. Общая мощность углесодержащей толщи не превышает 300 м.

Стратиграфически выше по разрезу углесодержащие образования перекрываются толщей эффузивных пород, залегающих в форме покровов (мощностью от 80 до 350 м). Осадочные и эффузивные образования прорываются на месторождении интрузивными породами, с которыми и связано оруденение.

Такая геолого-структурная обстановка на месторождении, когда в нижней части разреза залегают угольные пласты, а стра-

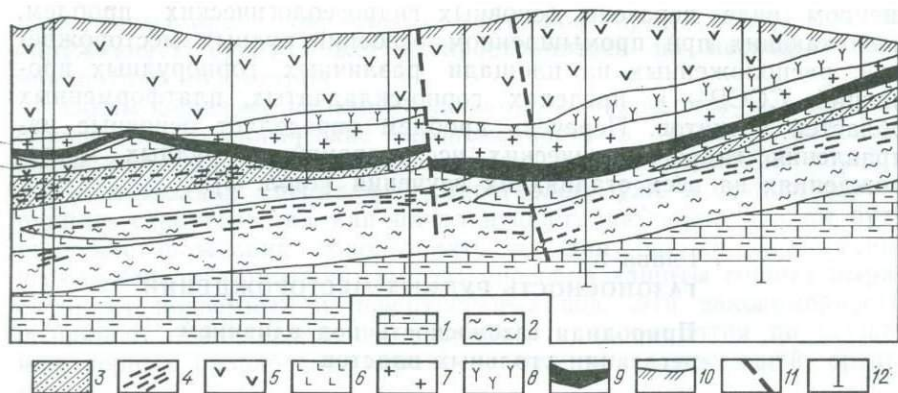


Рис. 3. Схематический геологический разрез месторождения.

1 — сланцы и мергели девона; 2 — нижний отдел перми; 3 — верхний угленосный отдел перми; 4 — пласты каменного угля; 5 — эффузивная толща; 6 — порфириды; 7 — габбро-диориты, габбро; 8 — габбро-диабазы; 9 — промышленная вкрапленная руда; 10 — почвенно-растительный слой; 11 — сброс; 12 — скважина

тиграфически выше залегают рудные тела, предопределила природную газоносность рудной залежи со стороны угольных пластов.

Большую роль в миграции природных газов на рудном месторождении играют крупные разломы северо-восточного простирания. Сложное сбросово-сдвиговое нарушение глубокого заложения пересекает всю складчатую структуру почти вкрест ее простирания.

В районе месторождения распространены подземные воды четырех типов: 1) грунтовые и трещинно-грунтовые воды надмерзлотного горизонта, формирующиеся в пределах зоны сезонного протаивания; 2) грунтовые воды сквозных таликов, формирующиеся под речными долинами; 3) межмерзлотные воды по зонам крупных тектонических нарушений; 4) трещинные воды подмерзлотного горизонта, распространенные в коренных породах под зоной вечной мерзлоты и обладающие гидростатическим напором и высокой минерализацией.

В суфлярных выделениях, наблюдаемых в горных выработках, содержание метана достигает 70 % от общего газового состава, а иногда 90 и даже 100 % (струйный выход чистого метана).

Углекислый газ является обычным компонентом среди обнаруженных природных газов, однако в верхних горизонтах разреза встречается в малых количествах. Наибольшее его содержание приурочено к угольным пластам вблизи их выходов. Азот, как и углекислый газ, широко распространен на месторождении, но преобладает в газах изверженных пород и в газах углей вблизи их выходов.

Исследованиями, проведенными на месторождении, были установлены следующие закономерности.

1. Угленосная свита на контакте с изверженными породами является интенсивно метаноносной. На участках, благоприятных в отношении газообмена с поверхностью, угленосная свита интенсивно насыщена кроме метана углекислым газом и азотом. Происхождение метана на месторождении связано с процессами углефикации растительных остатков. Не исключается возможность образования свободного метана в угленосных породах под воздействием термометаморфизма, возникшего при внедрении интрузии. Таким образом, можно предполагать, что метан в угольных пластах, подстилающих рудное тело, находится в свободном и сорбированном состоянии. Генезис газов, также обнаруженных на месторождении, таких как окись углерода, тяжелые углеводороды и водород, предположительно связывается с остаточными действиями интрузивных процессов.

2. Основными путями для миграции газов из угольного месторождения по вертикали вверх на рудное месторождение являются тектонические нарушения, сопровождаемые обычно зоной дробления. Мелкая трещиноватость регионального типа, широко распространенная во всех породах, служит также благоприятной средой для миграции газов, однако эта трещиноватость больше влияет на перераспределение газов внутри пласта или в двух прилегающих пластах. В природных условиях на угольном и рудном месторождениях в горных породах образуется единая система связанных между собой газопроводящих трещин. Кроме трещиноватости определялся абсолютный объем пористости, которая может играть положительную роль в газопроницаемости горных пород. В результате были установлены следующие объемы пористости (в %): в изверженных породах — 2,5—6; в песчаниках — 8—10; в аргиллитах — 6—8; в углистых аргиллитах — 8—10.

Накопление природных газов на месторождениях произошло до формирования вечной мерзлоты, когда процессы естественной дегазации угольных пластов шли очень активно; в последствии вечная мерзлота в значительной степени замедлила процессы естественной дегазации геологической структуры и является в настоящее время до некоторой степени газупором.

В зоне отрицательных температур горных пород выделение метана носит ограниченный характер даже в том случае, когда мерзлота непосредственно внедряется в метановую зону. Трещины имеют здесь малую обнаженность, они «залечены» льдом; представляют интерес отдельные участки, где обнажаются крупные тектонические нарушения, с которыми нередко связаны суффлярные выделения метана. Дебит суффляров редко превышает 4,6 л/мин, однако встречаются суффляры с дебитом до 15 л/мин. Большинство суффляров в этой зоне действующие, но есть и затухающие на протяжении 6—12 месяцев. Наконец, имеются суф-

ляры периодически действующие (с периодами действия через 10—40 дней, а иногда больше).

3. Подземные воды, распространенные на месторождении, играют положительную роль в естественной дегазации угольных пластов. Общее направление движения подмерзлотных напорных вод и направление движения газов на месторождении совпадают. Особенно велика роль подземных вод, приуроченных к сквозным таликам в естественной дегазации угольных пластов. При этом угленосная толща может быть практически полностью дегазирована на значительную глубину, если водоносная таликовая зона захватывает непосредственно выходы угольных пластов около поверхности. На больших глубинах (600—700 м) действие подземных вод таликовых зон в дегазации угольных пластов может резко снизиться.

В процессе исследований была установлена тесная связь между химическим составом подземных вод и растворенными в них газами. Эта закономерность выражается в следующем: а) подземные воды гидрокарбонатно-кальциевого состава обычно распространены в верхней зоне азотно-углекислых газов; б) подземные воды сульфатно-кальциево-натриевого состава приурочены к нижней части зоны азотно-углекислых газов и к зоне метано-углекисло-азотных газов; в) гидрокарбонатно-натриевые воды распространены обычно в зоне азотно-метановых и в верхней части зоны метановых газов; г) подземные воды гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого состава приурочены, как правило, к зоне полного отсутствия газового выветривания, т. е. к зоне чисто метановых газов.

Таким образом, химический состав подземных вод может играть на месторождении роль индикаторов для определения состава газов и газовой зональности, что очень важно при оценке прогноза газообильности рудных участков, где проектируется проходка горных выработок.

Выявленная на месторождении природная газоносность потребовала применения специальных мер для обеспечения безопасности эксплуатационных работ: 1) перевод действующих рудников на газовый режим с соблюдением всех связанных с этим действующих правил; 2) обеспечение оптимальных условий проветривания шахтных полей с обособленными схемами вентиляции раздельно для каждой шахты, а в пределах шахты — раздельно для верхних и нижних горизонтов двумя самостоятельными нагнетательными нитками (действующей и резервной); 3) заблаговременная, опережающая подготовка новых горизонтов с целью предварительной их искусственной дегазации; 4) организация постоянно действующей газовой службы для осуществления систематического надзора и контроля за соблюдением газового режима; 5) разведочное бурение скважин для своевременного выявления метаносных трещин или зон, составление прогнозных погоризонтных планов и дегазации нижних горизонтов при дренировании подземных вод.

Природная газоносность рудного объекта в районе проявления вулканической деятельности

Объект, на котором также была обнаружена газоносность, находится в Забайкалье, в пределах горного рельефа с абсолютными отметками до 1400—1500 м. Рудное поле расположено в межгорной речной долине. Окружающие долину горные хребты вытянуты в северо-восточном направлении. Среднегодовая температура воздуха $-2,6^{\circ}$. Вечная мерзлота в районе рудного месторождения, имеющая островной характер, широко развита в пониженных частях рельефа, в долине реки и на склонах, отсутствует на водоразделах и на склонах южной экспозиции. Мощность зоны вечномёрзлых горных пород в среднем составляет 20—30, реже 50—60 м. Под руслом реки в современных аллювиальных образованиях вечная мерзлота отсутствует. Здесь распространены речные таликовые породы.

В геологическом строении района принимают участие горные породы различного возраста и литологического состава. Наибольшую площадь распространения имеют интрузивные породы: граниты и гранодиориты верхнепалеозойского возраста, гранитоиды мезозойского возраста. Меньшую площадь занимают мезозойские эффузивные образования: порфириды, их туфы, туфобрекчи, а также конгломераты и песчаники. Конгломераты и песчаники нижнемелового возраста обычно выполняют тектонические депрессии. К такой депрессии и приурочено рассматриваемое рудное месторождение (рис. 4 и 5). Непосредственно на месторождении распространены граниты, слагающие основания депрессии, выполненной юрскими порфиридами и песчано-конгломератовой толщей нижнего мела.

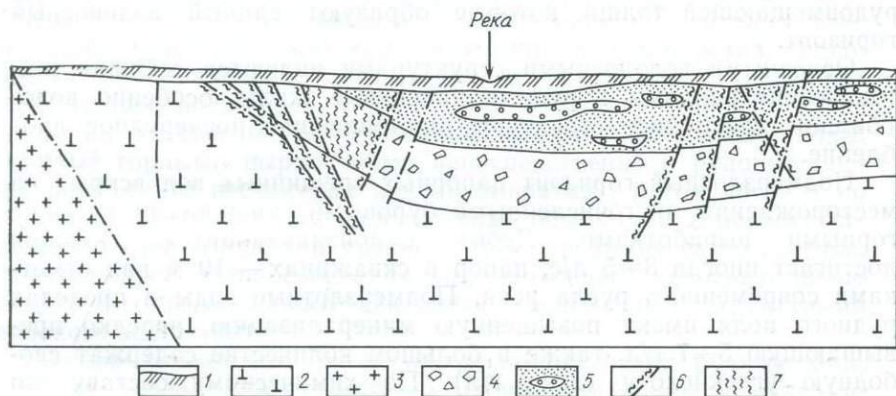


Рис. 4. Схематический геологический разрез месторождения.

1 — покровные суглинки; 2 — граниты; 3 — гранит-аплиты; 4 — конгломераты; 5 — песчаники с линзами конгломератов; 6 — зоны разломов с кварцевыми рудоносными жилами; 7 — кварцы

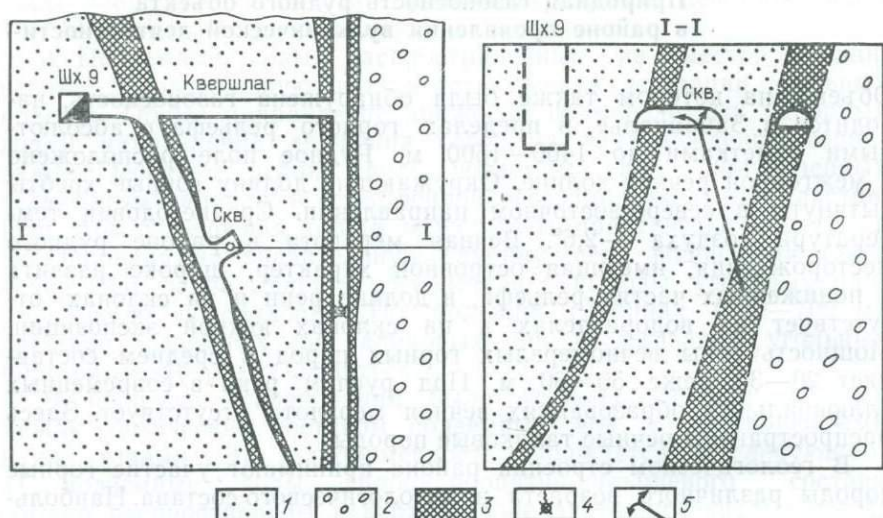


Рис. 5. Схематический план и разрез по линии I—I горизонта месторождения.
 1 — песчаники; 2 — конгломераты; 3 — рудные жилы; 4 — грифон (выход подземных вод с CO₂), прекративший действие; 5 — самоизливающаяся подземная дренажная скважина с углекислым газом

На месторождении наблюдаются подземные воды двух типов:
 а) грунтовые воды аллювиальных образований подруслового талика речной долины; б) подмерзлотные трещинные воды коренных пород напорного типа.

На месторождении наиболее широко развиты подмерзлотные трещинные воды в изверженных и осадочных коренных породах рудовмещающей толщи, которые образуют единый водоносный горизонт.

Основными водоносными структурами являются секущие тектонические разломы и рудные кварцевые жилы, особенно водобильные трещинные структуры, претерпевшие послерудное дробление.

Подмерзлотный горизонт напорных трещинных вод вскрыт на месторождении многочисленными буровыми скважинами, а также горными выработками. Дебит самоизливающихся скважин достигает иногда 3—5 л/с, напор в скважинах — 10 м над отметками современного русла реки. Подмерзлотные воды в пределах рудного поля имеют повышенную минерализацию, нередко превышающую 5—7 г/л, также в большом количестве содержат свободную углекислоту (до 3 г/л). По химическому составу это воды гидрокарбонатно-натриевого типа. Присутствие газа в подмерзлотных водах фиксируется почти во всех случаях вскрытия их горными работами и буровыми скважинами. На тех площадях, где рудная минерализация не встречается или проявляется

довольно слабо, минерализация трещинных вод подмерзлотного горизонта резко уменьшается, сохраняется их гидрокарбонатно-натриевый состав, однако в подземных водах отмечается сероводород. Основная площадь распространения сероводородных вод отмечается к северо-востоку от рудного поля, за границей восточного разлома.

Трещинные воды подмерзлотного горизонта вскрыты на месторождении горными выработками, они являются основным источником обводнения; выход этих вод здесь отмечается в виде интенсивного капезжа, тонких струй или в виде сосредоточенных струй по открытым трещинам рудоносных кварцевых жил.

Режимные наблюдения показали, что на протяжении года общие водоприutki в горные выработки подвержены незначительным колебаниям и составляют 90—110 м³/ч.

Одним из серьезных препятствий для нормальной эксплуатации рудного месторождения является его природная газоносность. Присутствие в большом количестве углекислого газа в рудничных водах, а также суфлярное выделение газа непосредственно в горных выработках, как правило, по рудным жилам создает большие трудности ведения горно-подготовительных и горнодобывающих работ. Прежде всего происходит интенсивное насыщение углекислотой рудничного воздуха, содержание которого изменяется от 18 до 88 %.

Проведенными исследованиями было установлено, что: а) с глубиной отработки рудного объекта содержание углекислого газа в рудничных водах повышается, увеличивается интенсивность суфлярного выделения газов; б) содержание газа в рудничных водах в течение года подвержено изменениям, наибольшее (свыше 3 г/л) отмечается с июля по сентябрь.

Газовое опробование рудничных вод показало, что в них содержится еще и сероводород, распространенный, правда, значительно реже, чем углекислый газ. Сероводород, очевидно, связан с органическими остатками в юрских конгломератах. Опробование на определение содержания других газов в подземных водах не производилось.

Весьма интересно то обстоятельство, что трещинные воды, вскрытые горными выработками непосредственно в рудовмещающих породах (в песчаниках и конгломератах), в том числе и по некоторым тектоническим нарушениям, обычно не содержат углекислого газа. Воды эти пресные, того же химического состава. Следовательно, газоносность на месторождении непосредственно связана с определенными секущими трещинными структурами глубокого заложения.

Генезис углекислого газа в трещинных водах рудных жил, очевидно, связан с затухающими процессами молодой вулканической деятельности, которая довольно отчетливо проявлялась в районе вблизи месторождения (базальты четвертичного возраста). Большую роль в сохранении на месторождении углекислого газа в рудных жилах играет вечная мерзлота. Мощности ее

незначительная (30—50 м), однако достаточная, чтобы сильно замедлить естественную дегазацию рудных жил.

Главными газывыводящими каналами на месторождении являются рудные жилы и некоторые разломы глубокого заложения. Трещинные воды подмерзлотного горизонта, обладающие большим гидростатическим напором, растворяя в большом количестве углекислый газ, играют положительную роль в естественной дегазации рудных жил.

Месторождение обрабатывается шахтным способом. Осушение горных разработок осуществляется под защитой внутришахтного водоотлива.

Большая зараженность рудничного воздуха углекислым газом потребовала проведения на рудниках специальных мер борьбы с газоносностью, главным образом интенсивной искусственной вентиляции горных выработок. С целью предварительного газового дренажа рабочих горизонтов искусственную вентиляцию в горных выработках можно сочетать с бурением специальных подземных дренажных гидрогеологических скважин, пройденных из подготовительных горизонтов или из специальных дренажных разведочных выработок по рудным жилам, с опережением по глубине на два-три горизонта.

На объекте вполне возможно применить метод эксплуатационного газового дренажа в подземных горных выработках с помощью опережающего бурения дренажных скважин, что в значительной степени облегчит условия проведения горно-подготовительных и горнодобывающих работ.

Выявленные на месторождении углекислые рудничные воды рекомендуется использовать для организации внекурортного лечения трудящихся, подведя минеральные воды непосредственно в городскую больницу.

Практика, накопленная в этом отношении в Советском Союзе, показывает высокую лечебную эффективность внекурортного использования минеральных вод.

Природная газоносность месторождения под влиянием сложных процессов

Интересный объект, где была обнаружена интенсивная газоносность рудного месторождения, расположен на Северном Кавказе. Месторождение это в настоящее время осваивается шахтным способом. С целью изучения его перспектив продолжаются детальные геологоразведочные работы в прилегающих районах. В процессе разведки и эксплуатации объекта были обнаружены токсичные и горючие газы: сероводород, углекислота, азот и газы метановой группы.

Район месторождения представляет собой типичное предкавказское среднегорье, переходящее к югу в высокогорную область. Местные реки глубоко пропиливают поверхность гор-

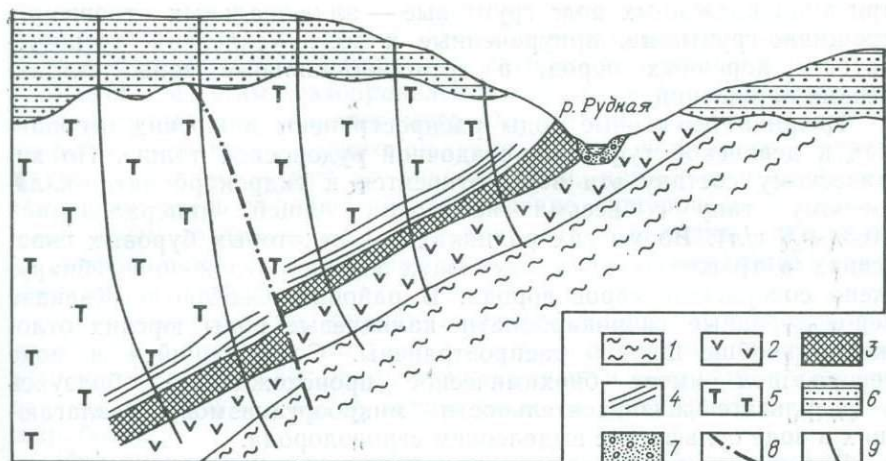


Рис. 6. Схематический разрез рудного поля.

1 — филлитовидные сланцы; 2 — кварцевые альбитофиры; 3 — рудная залежь; 4 — кремнистые сланцы; 5 — туфы, сланцы; 6 — песчаники и сланцы юрского возраста; 7 — аллювиальные отложения; 8 — тектоническое нарушение; 9 — скважина

ного рельефа. Река, непосредственно пересекающая рудное поле в пойменной части, значительно эродирует рудовмещающие породы, обнажая рудные залежи.

В геологическом строении описываемого месторождения принимают участие породы девонского, пермского, юрского и четвертичного возрастов (рис. 6). Девонские отложения представлены вулканогенно-осадочным комплексом пород — сланцы, туфы и рудовмещающие порфитоиды. Они обнажаются в долинах местных рек, где слагают асимметричную антиклинальную складку.

В южной и юго-западной частях месторождения рудовмещающий комплекс пород девона перекрывается красноцветными конгломератами и песчаниками нижней и верхней перми, а также юрского возраста. К югу, за пределами рудного месторождения, распространены отложения карбонового возраста, с которыми связано месторождение каменного угля.

Из образований четвертичного возраста распространены аллювиальные галечники (мощностью до 10 м), слагающие пойменную и надпойменную террасы рек.

В обнаженной части девона располагается антиклинальная складка, по оси которой прослеживается мощный поперечный разлом глубокого заложения.

Гидрогеологические условия месторождения изучались с целью выяснения степени обводнения месторождения и изыскания возможных источников водоснабжения проектируемого здесь горнорудного предприятия. На месторождении распространены

три типа подземных вод: грунтовые — аллювиальных отложений, трещинно-грунтовые, приуроченные к зоне усиленной трещиноватости коренных пород, и трещинно-жилльные зоны тектонических нарушений.

Трещинно-грунтовые воды распространены в юрских песчаниках и девонской туфогенно-осадочной рудоносной толще. По химическому составу эти воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу с весьма невысокой общей минерализацией (0,3—0,6 г/л). Во многих родниках и в некоторых буровых скважинах в трещинно-грунтовых водах юрских отложений обнаружено содержание сероводорода. В районах Северного Кавказа сероводородные гидрокарбонатно-кальциевые воды юрских отложений вообще широко распространены. Содержащийся в воде сероводород имеет биохимическое происхождение, образуясь в результате жизнедеятельности микроорганизмов, разлагающих в воде сульфаты с выделением сероводорода.

Водопроявление девонских рудовмещающих пород прослеживается до глубины 150—200 м, затем степень обводнения туфогенных пород резко понижается, а подстилающие их филлитовидные сланцы практически водонепроницаемы. По химическому составу трещинно-грунтовые воды зоны выветривания девонских пород относятся к гидрокарбонатно-кальциевому и гидрокарбонатно-кальциево-магниевому типам.

Трещинно-жилльные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений, являются напорными. Они вскрыты на месторождении в процессе разведки некоторыми скважинами, преимущественно по зоне северо-западного нарушения, а также по зонам «слепых» тектонических нарушений.

По химическому составу напорные воды резко отличаются от остальных типов подземных вод, распространенных на месторождении. Это воды хлоридно-натриевого типа с плотным остатком до 3—5 г/л. Установлено, что напорные воды, как правило, содержат свободно выделяющиеся газы: сероводород, углекислоту, азот и метан.

В первый период исследований были обнаружены только токсичные газы — сероводород, углекислота, а затем более глубокими скважинами были вскрыты горючие газы из группы метана. По некоторым скважинам выделение газов метановой группы было настолько интенсивным, что струя газа продолжительное время горела над устьем скважины. Таким образом, были собраны данные, указывающие на возможную вертикальную гидрохимическую и газовую зональность, какая была обнаружена на других рудных объектах. К сожалению, количественная характеристика и полный химический состав обнаруженных на месторождении газов изучены очень слабо.

Газоносность рудовмещающей толщи девона может происходить за счет миграции газов с глубины, где среди подстилающих филлитовидных сланцев распространены углистые сланцы. В этих углистых сланцах метан может находиться в свободном

состоянии, о чем свидетельствуют большие напоры газа в буровых разведочных скважинах. Пути миграции газов могут являться тектонические нарушения глубокого заложения.

Вместе с этим газопроявление на рудном месторождении может происходить за счет миграции метана и других газов со стороны угольного месторождения, расположенного гипсометрически ниже к югу от рудного поля, примерно в 8—10 км. Известное здесь угольное месторождение приурочено к каменноугольным отложениям; антиклинальная складка девонских рудовмещающих пород может играть для мигрирующих газов роль аккумулятора.

Обнаруженная на рудном месторождении газоносность потребовала в процессе шахтной его отработки принятия специальных мер борьбы с вредными токсическими и опасными горючими газами; в первую очередь осуществляется проветривание горных выработок.

При эксплуатации некоторых объектов в Сибири также выявлена газоносность рудных месторождений, что в определенной степени осложнило промышленную отработку рудных залежей. Месторождение это осваивается открытым способом. В геологическом строении месторождений принимают участие галогенно-терригенные и сульфатно-карбонатные породы кембрийского возраста, слагающие верхний структурный ярус платформы.

В районе одного из месторождений весь разрез пород рудовмещающей толщи вскрыт параметрической скважиной; фундамент платформы вскрыт на глубину 2126 м. Собственно месторождение разведано до глубины 1200 м.

Месторождение располагается в центре куполовидной структуры, образованной карбонатными породами нижнего палеозоя. Рудные тела пространственно тяготеют к зонам региональных разломов субмеридионального направления и приурочены к тектоническим нарушениям (Западное, Параллельное, Центральное и Восточное) глубокого заложения северо-западного простирания. По данным магнитных съемок, мощность тектонических нарушений достигает 400 м.

Собственно месторождение находится в зоне Центрального разлома. Вмещающие породы и рудное тело осложнены системами более мелких тектонических нарушений, которые играют существенную роль в обводнении месторождения.

В геокриологическом отношении месторождение залегает в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Месторождение характеризуется рядом особенностей, в первую очередь значительной глубиной проникновения отрицательных температур; по данным температурных исследований, нулевая изотерма фиксируется на глубине 740—770 м. При этом в геокриологическом разрезе выделяются многолетнемерзлые породы, залегающие в интервале от 0 до 300 м, и морозные породы — в интервале от 300 до 770 м. Среднегодовая температура многолетнемерзлых горных пород на глубине 12—15 м со-

ставляет около -4°C . Средний температурный градиент для геокриологического разреза достигает $0,4-0,5^{\circ}\text{C}$ на 100 м.

Широкое распространение на месторождении многолетнемерзлых пород большой мощности предопределяет глубокое залегание кровли подмерзлотных водоносных комплексов, что позволило верхнюю часть рудного тела отработать в весьма благоприятных условиях без притоков подземных вод. Наличие в бортах карьеров многолетнемерзлых пород повышает их устойчивость, что позволяет увеличить генеральные углы карьера.

В обводнении месторождения принимает участие подмерзлотный водоносный комплекс, приуроченный к карбонатной свите пород кембрийского возраста. Водовмещающими породами являются трещиноватые и кавернозные доломиты и известняки с прослоями в верхней части аргиллитов и ангидритов. Подземные воды вскрываются скважинами на глубинах 231—336 м. Общая мощность водоносного комплекса изменяется от 150 до 190 м. Подземные воды обладают большим напором — 175—216 м. Пьезометрический уровень устанавливается на глубине около 100—120 м; температура рассолов является отрицательной. Обобщенные по разрезу значения водопроводимости пласта составляют до $196 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент пьезопроводности колеблется от $2,6 \cdot 10^6$ до $1,2 \cdot 10^7 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент упругой емкости пласта имеет величину $1,03 \cdot 10^{-5} - 1,4 \cdot 10^{-4}$. Подземные воды месторождения имеют минерализацию, изменяющуюся по глубине пласта. При вскрытии вод в карьере они имели минерализацию около 41—58 г/л; с глубиной минерализация возрастает до 85—90 г/л, а затем до 270—370 г/л.

В процессе проведения гидрогеологических исследований было установлено, что подземные воды водоносного комплекса, залегающего на глубине 300—450 м, повсеместно содержат растворенные газы в довольно больших количествах — от 0,01 до $0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в трещиноватых породах и от 0,1 до $0,3 \text{ м}^3$ в интенсивно-трещиноватых породах в зонах тектонических нарушений; газовый фактор достигает здесь значения 0,4. По качественному составу природный газ может быть подразделен на два типа — с преобладанием азота и с преобладанием метана. В газах азотного типа содержание азота составляет 83—97, водорода 2,5—15, аргона — 0,45—0,9, углерода 0,5 %. В метановых газах содержание метана достигает 86—88, этана 6—7, азота 2—5, водорода 2 %. Особенностью водоносного комплекса также является содержание в его воде до 120—130 мг/л сероводорода. Его накоплению способствует содержание в породах битума и других органических веществ, образующихся благодаря биохимической сульфатредукции в анаэробных условиях.

В отдельных случаях у кровли водоносного горизонта создаются условия для образования зон газовых скоплений, формируются так называемые газовые «шапки». При вскрытии этих скоплений скважинами они быстро срабатываются, поскольку объемы газа в них относительно ограничены.

Разработка месторождения осуществляется открытым способом. Проектная глубина 420 м. Прогнозный приток подземных вод в карьер при максимальной его глубине отработки составит около 2000 м³/ч.

Осушение карьера предусматривается с помощью внешнего кольца водопонижающих скважин, оборудованных высоконапорными антикоррозийными насосами, а также внутрикарьерным водоотливом.

Учитывая высокую степень минерализации подмерзлотных вод, содержание в них токсичных газов и необходимость охраны окружающей среды, на объекте разрабатывается вариант опережающего осушения карьера по схеме «осушение—захоронение», при которой рудничные воды не сбрасываются на поверхность, а в некотором удалении от объекта заканчиваются по замкнутой системе водовода в карбонатные породы в зонах повышенной их фильтрационной способности.

Рассмотренные выше примеры, характеризующие различные природные условия газоносности рудных месторождений, не исчерпывают всех объектов, на которых за последнее время были обнаружены природные газы. Можно перечислить еще несколько рудных месторождений, где в той или иной степени распространены вредные и взрывоопасные газы. Наибольшие шансы возможного обнаружения природных газов на рудных месторождениях имеют те объекты, где намечается отработка рудных залежей на больших глубинах (более 800—1000 м).

Все это вместе взятое предопределяет необходимость проведения при разведке рудных месторождений наряду с гидрогеологическими исследованиями специальных исследований с целью изучения их газоносности. Это позволит своевременно, еще в стадии проектирования предприятия, предусмотреть меры борьбы с газоносностью.

Глава 4

ОБЗОР СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

Общие факторы, определяющие выбор способов осушения

Осушение горных разработок в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении является мощным техническим средством обеспечения безопасных условий промышленного освоения рудных месторождений. Вместе с тем осушение, особенно при одновременном освоении близко расположенных друг к другу месторождений, всегда приводит к коренному изменению природной обстановки, истощению запасов подземных вод и фор-

мированию в той или иной степени техногенеза. Эти две прямо противоположные тенденции в принципе и определяют выбор рациональных схем осушения, мер защиты окружающей среды от негативного влияния техногенеза, а также необходимость максимального использования рудничных вод для целей водоснабжения или орошения.

Проектирование осушительных устройств и способов дренажа при проходке горных выработок является задачей отраслевых проектных институтов, на которые возложена разработка проектов промышленной обработки рудных месторождений. Однако для проектирования горных разработок и других объектов предприятия проектные организации должны иметь достаточно достоверную гидрогеологическую и инженерно-геологическую информацию по объекту. Для разработки схем осушения и мер защиты горных разработок от обводнения используются результаты комплексных исследований, проведенных в стадию разведки рудных месторождений.

В стадию строительства горнорудного предприятия, как подчеркивалось ранее, на объекте выполняются в небольшом объеме дополнительные комплексные исследования.

В стадию промышленного освоения рудного месторождения в необходимом объеме должны быть продолжены комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. Из всего комплекса исследований в эту стадию наиболее существенными являются стационарные наблюдения за режимом подземных вод и изучение опыта эксплуатации осушительных устройств и условий формирования техногенных процессов [7, 23].

Целесообразно произвести краткий обзор мер защиты горных работ от обводнения подземными и поверхностными водами. Выбор системы осушительных устройств на объектах и защита окружающей среды определяются комплексом факторов.

1. Геологические факторы, характеризующие литологический состав рудовмещающих пород и пород надрудной толщи, мощность, условия залегания, тектоническую нарушенность, трещиноватость и закарстованность пород, глубину залегания рудных залежей, их структуру и текстуру.

2. Гидрогеологические факторы, определяющие: условия водоносности коренных (рудовмещающих) пород и рыхлых образований, характеристику водоносных горизонтов, условия их распространения и питания; гидравлическую связь подземных и поверхностных вод, характеристику основных расчетных гидрогеологических параметров, степень их фильтрационной неоднородности в плане и вертикальном разрезе; химический состав всех типов подземных вод, распространенных на месторождении, их агрессивность по отношению к бетону и металлу; характер обводненности рудных залежей; ожидаемые водопритоки в горные выработки и их балансовую структуру (источники обводнения горных выработок).

3. Инженерно-геологические факторы, определяющие: механический состав рыхлых покровных образований и физико-механические свойства коренных пород и рудной залежи; трещиноватость и степень устойчивости пород в горных выработках (в подземных горных выработках и в бортах карьера); способность горных пород к изменению физико-механических свойств в стадию эксплуатации.

4. Геоморфологические и климатические факторы, определяющие: характер и степень расчлененности рельефа будущего шахтного или карьерного поля; гидрографическую сеть участка горного строительства и режим поверхностного стока (в годовом и многолетнем разрезе), влияние поверхностных вод на возможное обводнение месторождения; температурный режим воздуха и поверхностных вод, характер стока выпадающих на месторождении атмосферных осадков.

5. Факторы, характеризующие газоносность месторождения: природные газы и условия их формирования, агрессивность и химическая активность газов; степень газонасыщенности и меры защиты горных разработок от газоносности.

6. Факторы техногенного происхождения, характеризующие: прогнозную оценку возможного развития в стадию эксплуатации различных типов гидрогеологических и инженерно-геологических техногенных процессов и техногенеза в целом; меры защиты свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в целом от негативного влияния техногенеза. Весьма важными в этих процессах являются процессы взаимодействия осушительных устройств с действующими водозаборами.

7. Факторы, характеризующие горнотехнические условия вскрытия и эксплуатации месторождения, а также определяющие технологию вскрытия и способы отработки объекта, глубину заложения шахт или карьера, скорость продвижения фронта горных работ, требования, предъявляемые к степени влажности рудных залежей и др.

8. Экономические факторы, определяющие: сравнительную оценку конкурентоспособных для данного объекта схем осушения, целесообразность и оправданность выбранных схем осушения карьера или шахтного поля и осушительных устройств; экономическую эффективность мер защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенеза.

9. Факторы комплексного использования всех компонентов изучаемого объекта, в том числе подземных вод для практического их использования (для водоснабжения и орошения).

Как следует из краткого изложения основных факторов, определяющих условия выбора схем осушения горных разработок на рудных месторождениях, многие из них по существу характеризуют свойства геологической среды.

Схемы осушения горных разработок

С учетом отмеченных выше основных в практике горнорудной промышленности СССР применяются различные типовые специальные и оригинальные схемы и осушительные устройства. Рассмотрим некоторые из них.

К обычным схемам открытого осушения могут быть отнесены простейшие, часто встречающиеся на практике осушения горных разработок с помощью обычного внутришахтного или внутрикарьерного водоотлива. По этим схемам все водоприитоки в систему подземных горных выработок или карьеров принимаются непосредственно к промежуточным и центральным насосным станциям, откуда рудничные воды откачиваются по трубопроводам на поверхность.

При карьерной обработке рудных месторождений такие простейшие схемы осушения применяются при простых гидрогеологических условиях объекта, когда в строении карьера принимают участие устойчивые в бортах и уступах скальные трещиноватые породы, на изменение свойств которых подземные и поверхностные воды практически не оказывают существенного влияния; водоносные трещиноватые породы на уступах и бортах не обладают склонностью к фильтрационной деформации.

Расходы подземных вод, поступающих к откосам бортов карьера, принимаются в дренажные и сборные канавы и затем организовано по трубопроводам сбрасываются в приемный зумпф, устраиваемый по дну действующего забоя. В условиях открытого дренажа, таким образом, важное значение приобретает организация внутрикарьерного стока подземных вод.

Примерно такая же схема водоотлива применяется в процессе осушения при шахтной обработке рудных месторождений. На нижних рабочих горизонтах шахтного поля устраивается центральная насосная станция с водоприемником, по объему достаточным для приема общих водоприитоков рудничных вод; на всех вышележащих рабочих горизонтах рудничные воды принимаются в дренажные канавы и затем перепускаются по трубам между горизонтами в общий водоприемник, откуда центральная насосная станция перекачивает их на поверхность.

Такие системы открытого дренажа применяются на многих известных рудных месторождениях, обрабатываемых карьерным и шахтным способами, — в Сибири, на Урале, в Казахстане, на Кавказе и других районах. Опыт эксплуатации рудных месторождений показывает, что система открытого дренажа в таких простых природных условиях вполне себя оправдывает, а эффективность осушения полностью обеспечивает безопасные условия их обработки.

Система осушения специального назначения применяется на рудных месторождениях, имеющих сложные природные условия. Общие водоприитоки в систему горных работ (в карьер и шахтное поле), как правило, в среднем 150—

300 м³/ч, реже до 500 м³/ч. Однако при этом отмечается неустойчивость полускальных рудовмещающих пород в бортах и уступах карьера и в подземных горных выработках, особенно при дополнительном увлажнении пород; часто требуется опережающее осушение рудных залежей. При карьерной отработке таких рудных месторождений применяются несколько типовых схем специального осушения. Если на площади месторождения отсутствуют поверхностные потоки и источниками обводнения являются подземные воды и атмосферные осадки, то при открытой отработке объекта осушение карьера и рудных залежей производится с помощью системы подземных дренажных горных выработок, пройденных по контуру карьера, водоотливных шахтных стволов, в сочетании с дренажными восстающими скважинами, а также сквозными фильтрами (рис. 7). Временные водопритоки, формирующиеся от атмосферных осадков, организованно перепускаются на горизонт дренажных выработок. Главная задача подземной системы дренажа карьеров — обеспечить опережающее осушение горных выработок и рудных залежей.

По мере углубления карьера обычно строятся два или три подземных дренажных горизонта, как это показано на рис. 7. В некоторых случаях подземная система дренажа карьера сочетается с дополнительными мерами защиты уступов и борта карьера от фильтрационной деформации, путем осушения уступов системой дренажных канав и буровых скважин [7].

В тех случаях, когда требуется защита горных выработок от возможного их обводнения поверхностными водами, подземная система осушения карьера осложняется применением до-

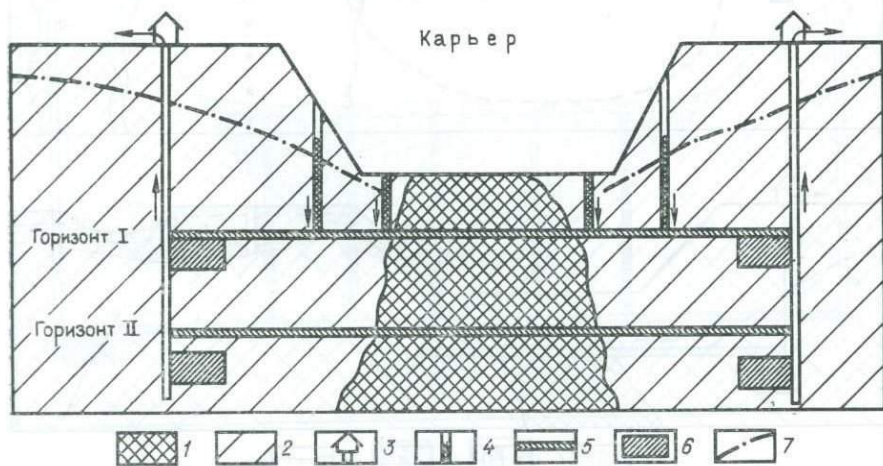


Рис. 7. Схема осушения карьера подземным способом.

1 — рудная залежь; 2 — рудовмещающие породы; 3 — водоотливная шахта; 4 — сквозной фильтр; 5 — подземная дренажная горизонтальная выработка; 6 — водоприемник и насосная станция; 7 — депрессионная кривая уровней подземных вод.
Стрелками показано направление стока рудничных вод

полнительных осушительных устройств. При малых расходах рек (третьего или четвертого порядка) производится отвод или изоляция поверхностных потоков за пределы возможного дренирования карьера.

В долинах крупных рек в аллювиальных отложениях всегда формируется поток грунтовых вод, имеющий гидравлическую связь с поверхностными водами. В тех случаях, когда карьерное поле непосредственно примыкает к долине реки, защита карьера от обводнения и бортов от деформации может быть выполнена с помощью системы водопонизительных скважин, как это показано на рис. 8. Опыт отработки некоторых рудных месторождений в Казахстане показывает, что такая система осушения локального участка является весьма эффективной и полностью обеспечивает устойчивость борта карьера, сложенного песчано-галечниковыми образованиями, а также защиту выработок от дополнительного источника обводнения. Каких-либо осложнений при эксплуатации карьеров при такой комбинированной схеме осушения в практике работ не отмечалось, что и подтверждает ее эффективность. Применение локального осушения с помощью водопонизительных скважин является довольно простым в техническом отношении, однако сложным при эксплуатации; ра-

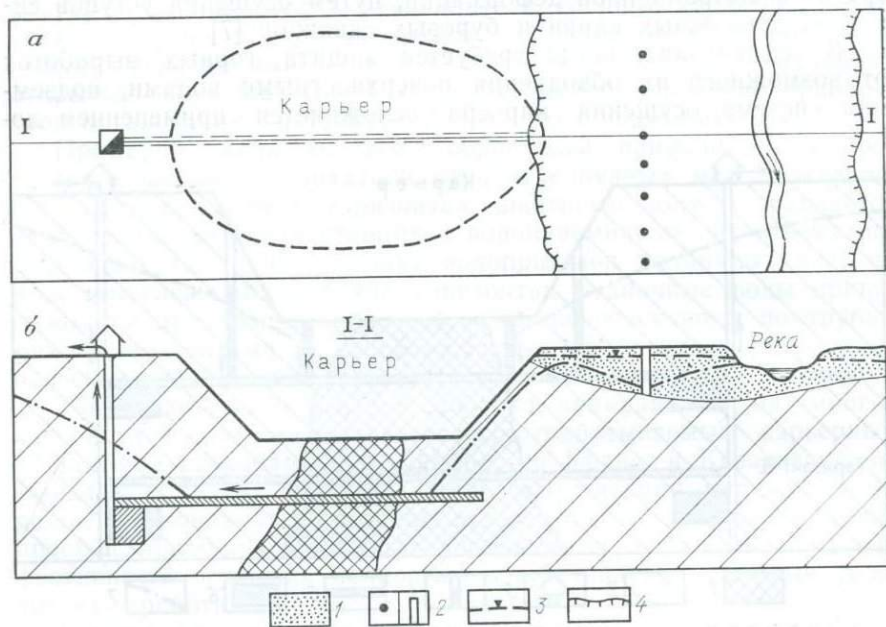


Рис. 8. Комбинированная схема осушения карьера.

1 — аллювиальные отложения; 2 — водопонизительные скважины линейного ряда; 3 — статический уровень подземных вод; 4 — контур речной долины. Остальные условные обозначения см. на рис. 7

бота погружных насосов в скважинах требует постоянного надзора за их эксплуатацией.

Система локального осушения карьерного или шахтного поля может иметь несколько иную схему. Например, на одном из рудных месторождений в северо-восточной части Казахстана было осуществлено локальное осушение обводненной толщи (песчано-галечниковых аллювиальных отложений мощностью до 120 м), залегающей непосредственно над рудовмещающими породами, по комбинированной схеме. В результате установили, что подземные воды речной долины являются основным источником обводнения объекта. С целью защиты горных работ от грунтовых вод аллювиальных отложений вначале был осуществлен отвод речных вод, а затем непосредственно в коренных породах (на глубине 150 м) была пройдена водопримемная шахта с насосной станцией, а также подземные дренажные горизонтальные выработки. В поперечном сечении долины по трассе дренажных выработок был пробурен линейный ряд скважин — сквозных фильтров (всего 22 скважины с расстоянием между ними 50—60 м). Принципиальная схема дренажа представлена на рис. 9. Такая комбинированная система дренажа позволила очень быстро и полностью осушить песчано-галечниковые отложения и таким образом изолировать от горных работ основной источник обводнения месторождения.

В практике промышленного освоения рудных месторождений встречаются объекты, обработка которых осуществлялась с некоторым опережением вначале карьерным способом (на глубину

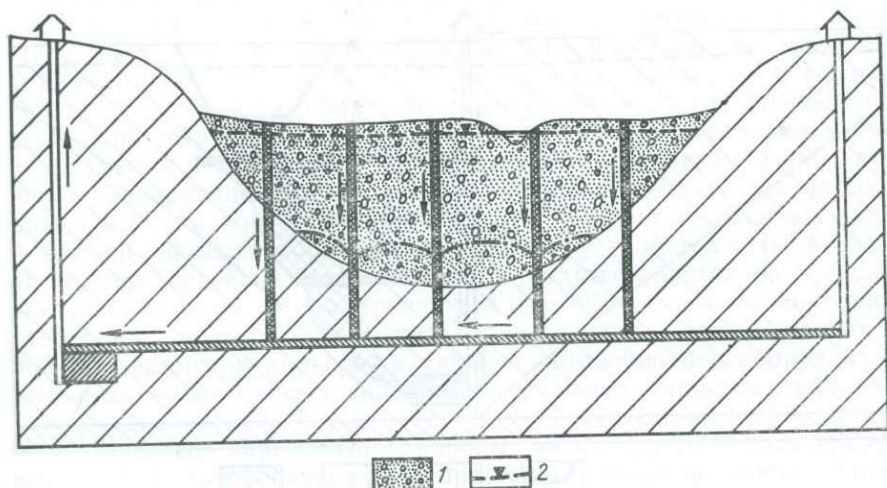


Рис. 9. Принципиальная схема локального осушения водоносных песчано-галечниковых отложений.

1 — аллювиальные песчано-галечниковые отложения; 2 — уровень подземных вод до осушения. Остальные условные обозначения см. на рис. 7

нередко до 250—300 м), а затем более глубокие рудные горизонты обрабатывались шахтным способом. Подобные совмещенные способы обработки часто встречаются на объектах, в которых геологическая среда отвечает условиям описанной выше второй модели.

В таких горнотехнических условиях все водопритоки, формирующиеся на площади карьера, в том числе и за счет атмосферных осадков, приходится принимать непосредственно в систему подземных горных работ (рис. 10).

Опыт эксплуатации такой системы осушения показал, что ее нельзя признать эффективной. Во-первых, в режиме общих водопритоків отмечаются нежелательные весенние дождевые пики. Во-вторых, в подземных горных выработках, принимающих весь объем стока со стороны карьера, может накапливаться пульпообразная масса горных пород, сформировавшаяся под влиянием эрозий дождевыми потоками почвенного покрова на площади карьера; внезапные прорывы такой «жидкой породы» могут привести к аварийной ситуации в подземных горных выработках.

Специальные способы осушения горных разработок с помощью глубинного дренажа применяются на практике чаще всего на рудных месторождениях, приуроченных к карбонатным породам, при эксплуатации которых формируются большие водопритоки.

Карбонатные водоносные породы обладают высокими прочностными свойствами, достаточно устойчивы (без крепления) в подземных горных выработках и по уступам борта карьера.

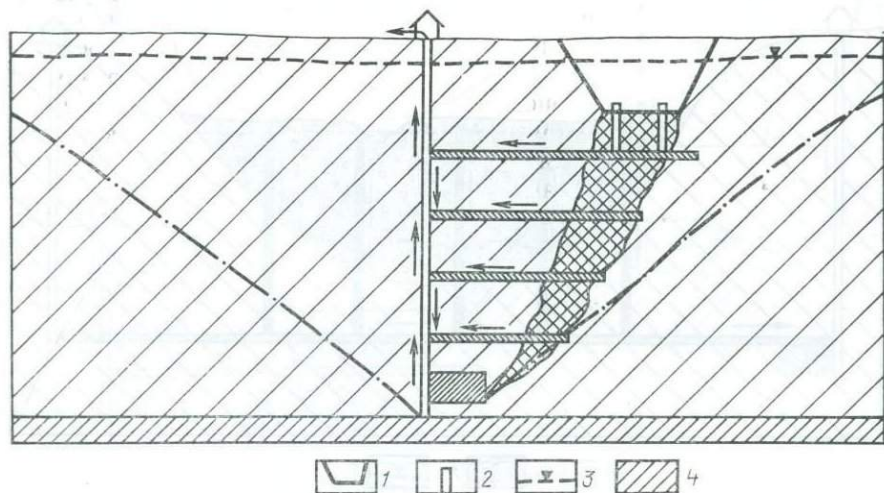


Рис. 10. Схема осушения карьера и внутришахтного водоотлива.

1 — карьер, 2 — водопускная скважина; 3 — уровень подземных вод до эксплуатации; 4 — водонепроницаемая порода.
Остальные условные обозначения см. на рис. 7

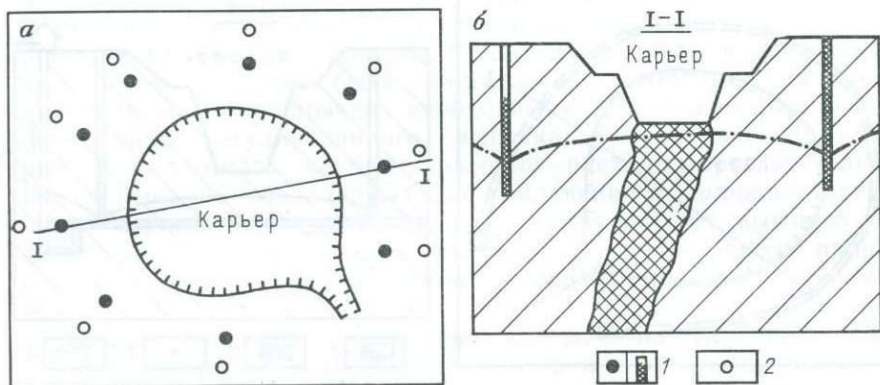


Рис. 11. Схема осушения карьера с помощью водопонизительных скважин.

Скважины: 1 — водопонизительные; 2 — наблюдательные.
Остальные условные обозначения см. на рис. 7

Породы эти не изменяют своих физических свойств и при их осушении. Исключением являются тектонические зоны нарушений в известняках, где часто наблюдается тонкая дробленность пород. При осушении таких обводненных зон с помощью скважинного водопонижения интенсивно проявляется фильтрационно-суффозионный вынос материала (мелких фракций) и вокруг скважины на поверхности формируются провальные воронки, что может привести к деформации поверхностных сооружений.

При карьерной отработке рудных месторождений осушение рудовмещающих известняков чаще всего производится в два этапа. На первом этапе — промышленной отработки объекта (примерно до глубин 100—150 м) осушают карьер с помощью кольцевой системы водопонизительных скважин, пройденных по периметру выработки (рис. 11). Водопонизительные скважины оборудуются погружными вертикальными насосами, а на площади дренирующего влияния осушения организуется сеть наблюдательных скважин с целью изучения режима подземных вод и оценки эффективности осушительного устройства. На втором этапе, при освоении более глубоких рудных горизонтов, осушение производится комбинированным способом — с помощью опережающей подземной кольцевой дренажной галлерей, пройденной по периметру карьера, а также с помощью переоборудованных водопонизительных скважин в сквозные фильтры, как это показано на рис. 12.

Водоносные карбонатные породы очень часто характеризуются высокой степенью фильтрационной неоднородности. Поэтому при вынесении в натуру проектных проработок по осушению карьера с помощью кольцевой системы водопонизительных скважин крайне необходимо осуществить вначале бурение поисково-разведочных скважин в каждой точке запроекти-

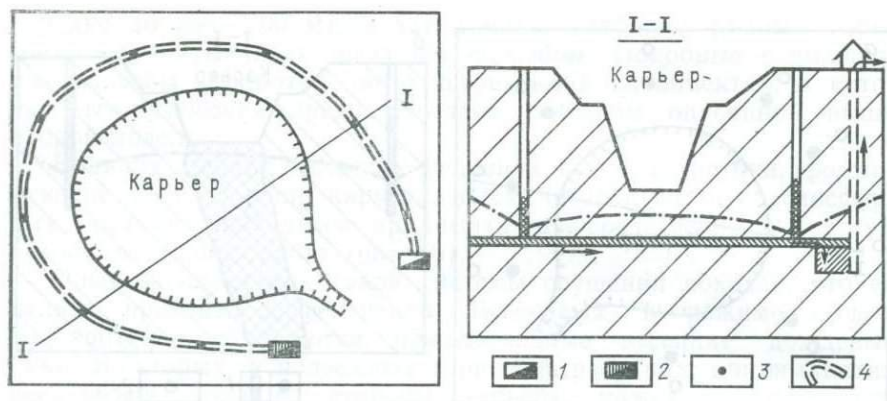


Рис. 12. Комбинированная схема осушения карьера:

1 — водоприемная шахта с насосной станцией; 2 — вентиляционная шахта; 3 — сквозные фильтры; 4 — подземная дренажная галерея. Остальные условные обозначения см. на рис. 7

рованных эксплуатационных выработок. Результаты бурения и опробования поисково-разведочных скважин позволят откорректировать и уточнить места заложения собственно водопонижительных скважин. Такой методический подход к строительству осушительных устройств в значительной степени повышает их эффективность.

В практике осушения рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам, были выявлены агрессивные рассолы высокой минерализации — до 120—170 г/л. Это обстоятельство значительно осложняет работу осушительных устройств, вызывает перебои в работе и требует переоборудования водопонижительных скважин специальными противокоррозионными погружными насосами.

При отработке рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам, осушение горных разработок шахтным способом также может быть осуществлено в два этапа, как это имеет место в практике промышленного освоения ряда рудных месторождений. На небольших глубинах горных работ (до 200—300 м) общие водопритоки могут быть приняты непосредственно в систему подземных горных выработок, на нижние горизонты, откуда с помощью централизованной насосной станции рудничные воды откачиваются на поверхность. Несмотря на сравнительно большие общие водопритоки (до 10—12 тыс. м³/ч), экономически было выгодно осушать горные разработки с помощью обычного внутришахтного водоотлива. На этом этапе осушения, в процессе ведения горных подготовительных и очистных работ требуется применение дополнительных специальных мер защиты горных выработок от рудничных вод. Во-первых, обязательным является бурение в забоях выработок опережающих дренажных скважин с целью

предварительного снятия законсервированных в неоднородно обводненных известняках остаточных гидростатических напоров; во-вторых, при проходке каждого горизонта вблизи шахтного ствола должна быть оборудована автоматическая водонепроницаемая перемычка, необходимая для удержания и последующего регулируемого выпуска рудничных вод, который может иметь крупные разовые расходы при внезапном их прорыве из обводненных зон, являющиеся причиной затопления горных выработок. Практика подтверждает высокую эффективность защиты горных выработок от внезапных прорывов рудничных вод системой водонепроницаемых перемычек.

Однако при отработке рудных залежей на глубинах более 300—400 м требуется осуществить второй этап осушения с помощью комбинированной схемы внутришахтного водоотлива, а также устройством внешних дренажных скважинных узлов (оборудованных погружными насосами), организованных непосредственно на поверхности на флангах депрессионной воронки, вблизи основного источника обводнения месторождения — поверхностных вод речной сети (рис. 13). С помощью таких дренажных узлов на одном из объектов Урала удалось снизить общие водопритоки рудничных вод в систему шахтных полей до 30—35 %. Однако преимущество и эффективность внешних дренажных узлов этим не ограничивается. Дренажные узлы следует рассматривать как крупное групповое водозаборное сооружение;

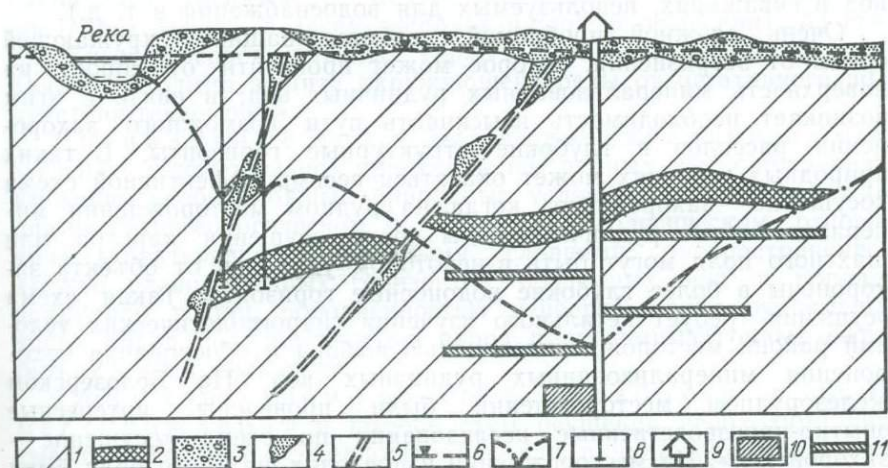


Рис. 13. Схематический геолого-гидрогеологический разрез рудного месторождения.

1 — рудовмещающие водоносные карбонатные породы; 2 — рудная залежь; 3 — рыхлые четвертичные образования; 4 — древние карстовые полости, заполненные рыхлым материалом; 5 — тектонические нарушения; 6 — статический уровень подземных вод; 7 — депрессионная воронка; 8 — внешние дренажные скважины; 9 — шахта; 10 — водоприемник и насосная станция; 11 — подземная дренажная горизонтальная выработка

подземные воды при этом могут быть использованы не только для производственного, но и для хозяйственно-питьевого назначения.

Таким образом, комбинированную схему осушения — шахтный водоотлив в сочетании с внешними дренажными узлами — вполне правомерно рассматривать как очень эффективную и прогрессивную, которую можно назвать «осушение-водоснабжение». Именно по такой схеме осуществлялось осушение на некоторых рудных месторождениях Урала и КМА.

В сложных гидрогеологических условиях водоносных карбонатных пород проходку шахтных стволов также приходится производить спецспособами: а) под защитой опережающей цементации ствола, б) под защитой кольцевой системы многозабойных водопонижительных скважин, оборудованных погружными насосами.

Следует отметить, что при освоении глубоких рудных горизонтов в карбонатных породах (более 500—800 м) на некоторых объектах были выявлены природные газы: метан, углекислый газ, сероводород. Это обстоятельство требует принятия дополнительных мер по дегазации месторождения.

Как показывает практика осушения горных разработок, на рудных месторождениях, приуроченных к карбонатным породам, наблюдается значительное влияние на изменение экологического качества окружающей среды; в сфере влияния осушительных устройств на значительной площади происходит дренирование влаги с окружающей среды (дренирование родников, подземных вод в скважинах, используемых для водоснабжения и т. д.).

Очень сложной проблемой является защита окружающей среды от загрязнения, которое может произойти от сброса на поверхность минерализованных рудничных вод; в связи с этим возникает необходимость изыскивать пути возможного захоронения рассолов в глубокие структурные горизонты. В таких природных условиях может оказаться весьма эффективной схема «осушение — захоронение», когда на рудном месторождении минерализованные рудничные воды после осушения карьера или шахтного поля могут быть в некотором удалении от объекта захоронены в более глубокие водоносные горизонты. Такая схема осушения требует детального изучения гидрогеологических условий района месторождения с целью выбора и обоснования захоронения минерализованных рудничных вод. На Белозерском железорудном месторождении были проведены интересные опытно-производственные исследования по схеме «осушение — захоронение». На месторождении в пределах шахтного поля были построены три узла поглощаемых скважин, пройденных на сарматский водоносный горизонт, воды которого используются для водоснабжения городов и населенных пунктов, прилегающих к горнорудному предприятию. Из семи водопонижающих скважин, пройденных с целью осушения горных разработок бучакского водоносного горизонта, подземные воды закачивались

в поглощающие скважины. Общая производительность закачки в сарматский горизонт 350—400 м³/ч, что примерно составляло 30 % от общей производительности дренажной осушительной системы предприятия. Орeал растекания нагнетаемой воды при опытных исследованиях охватывал площадь около 2 тыс. км², а напоры подземных вод в сарматском горизонте повысились на 20—25 м. В результате в ближайших населенных пунктах улучшились условия отбора подземных вод для целей водоснабжения. Как видно из приведенных данных, опытно-промышленные исследования по схеме «осушение-захоронение» дали весьма положительные результаты. В условиях аридного климата на объектах могут быть построены специальные накопители — испарители минерализованных рудничных вод.

Индивидуальная система осушения рудничных месторождений представляет собой рациональное сочетание специальных приемов дренажа горных разработок применительно к особенностям весьма сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

Как показывает практика, по своему содержанию индивидуальная система осушения горных месторождений является сложной. При карьерной отработке осушение производится с помощью: а) внутрикарьерного водоотлива; б) системы внешних дренажных устройств; в) дополнительных мер прибортового дренажа. При шахтной отработке объектов осушение горных разработок производится с помощью: а) внешнего опережающего глубинного дренажа (с целью обеспечения так называемого предварительного, а затем эксплуатационного осушения); б) специальных способов проходки горных выработок. В обоих случаях необходима защита окружающей среды от негативного воздействия техногенеза.

Специальные способы индивидуального осушения целесообразно применять на рудных месторождениях, имеющих особо сложные природные условия. Эти месторождения в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении характеризуются сложными условиями: распространением этажно расположенных горизонтов подземных вод в породах надрудной толщи, обводненностью непосредственно рудовмещающих пород, неустойчивостью пород в подземных горных выработках и в бортах карьера.

При карьерном способе отработки рудных месторождений и выборе схем осушения необходимо учитывать некоторые особенности. Так как в надрудной толще пород распространен целый водоносный комплекс, карьером может быть вскрыто несколько водоносных горизонтов. Это может привести к формированию по ступам выработки нескольких горизонтов высачивания подземных вод и возможному образованию процессов фильтрационной деформации. В связи с этим для обеспечения безопасных условий отработки месторождения целесообразно создавать на площади карьерного поля несколько

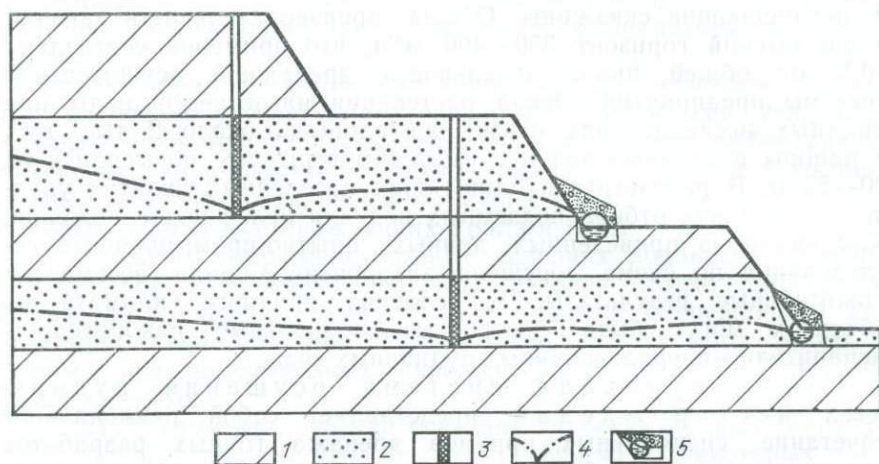


Рис. 14. Схема ярусного внутрикарьерного расположения дренажных скважин в комбинации с прибортовым горизонтальным дренажом.

1 — водонепроницаемая порода; 2 — водоносная порода; 3 — дренажная скважина, оборудованная фильтром; 4 — депрессионная воронка; 5 — прибортовой горизонтальный дренаж

этажно расположенных дренажных скважин, как это показано на рис. 14.

В зависимости от конкретной гидрогеологической обстановки месторождения этажно расположенные системы могут быть обособленными, если верхние водоносные горизонты по сравнению с нижними обладают высокой проницаемостью и водообильностью, или совмещенными, когда в разрезе водоносного комплекса повышенная проницаемость и водообильность отмечаются в нижних водоносных горизонтах, в этом случае проявляется эффект водопоглощения. В первом случае осушение уступов

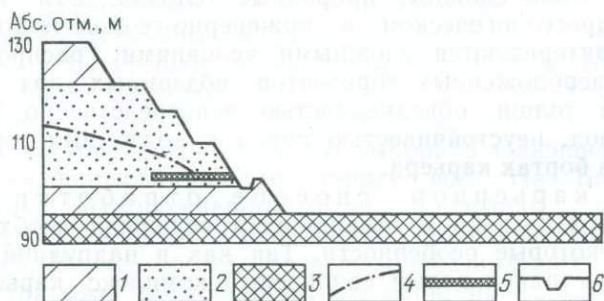


Рис. 15. Схема осушения нерабочего уступа с помощью горизонтальных дренажных скважин.

1 — слабопроницаемые породы; 2 — водоносные пески; 3 — рудная залежь; 4 — депрессионная кривая уровней подземных вод; 5 — горизонтальная дренажная скважина; 6 — водоотводная канава

карьера может представлять собой систему водопонижительных скважин в сочетании с дренажными горизонтальными траншеями (с гравийной засыпкой), пройденными в основании уступов фильтрующих пород; во втором — используя эффект поглощения — осушение уступов можно осуществить с помощью системы поглощающих скважин, пройденных на глубину поглощающего горизонта.

При определенных гидрогеологических условиях устойчивость обводненного нерабочего борта карьера можно обеспечить с помощью бурения горизонтальных дренажных скважин, как это было осуществлено на Лебединском карьере КМА [22], а также на некоторых карьерах Армении, где горизонтальными скважинами осушались водоносные пески мелового возраста (рис. 15). На одном из рудных месторождений Армении с целью осушения обводненной зоны тектонического нарушения были пройдены дренажные скважины с западного борта карьера (рис. 16) [23].

При эксплуатации некоторых железорудных месторождений перехват фильтрационного потока, выходящего по откосу, осуществлялся с помощью иглофильтровых установок типа ЛИУ-5.

На некоторых месторождениях рудные залежи могут находиться на больших глубинах (до 200—300 м) и при строительстве карьера возникает необходимость вскрывать все водоносные горизонты, распространенные в породах надрудной толщи. В таких условиях, как показывает практика, целесообразно применить комбинированный способ подземного дренажа в сочетании с внешними дренажными гидрогеологическими скважинами, а также внутрикарьерными дренажными устройствами.

Комбинированная схема осушения является очень сложной для исполнения. Внедрение ее в практику на объектах обычно осуществляется в два этапа. На первом этапе производится предварительное осушение с помощью кольцевой системы водопонижительных скважин, пройденных по внешнему контуру карьера и оборудованных погружными насосами на вертикальном валу. Такая система позволяет осуществлять строительство карьера с постепенным подключением (в случае необходимости) дополнительных внутрикарьерных дренажных устройств. На втором этапе производится строительство контурной системы подземных дренажных устройств в виде водоотливных шахт и горизонтальных горных выработок, пройденных из шахт по трассе водопонижительных скважин, с тем чтобы в дальнейшем пере-

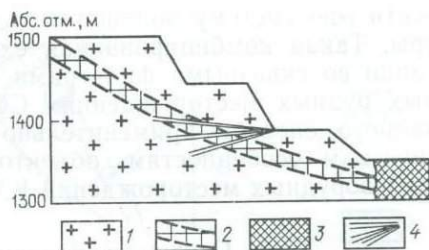


Рис. 16. Схема осушения Западного борта рудного месторождения.

1 — рудомещающие интрузивные породы; 2 — обводненная зона тектонического нарушения; 3 — рудная залежь; 4 — куст дренажных скважин

вести всю систему водопонижительных скважин в сквозные фильтры. Такая комбинированная схема подземного дренажа в сочетании со сквозными фильтрами применялась на некоторых крупных рудных месторождениях СССР. Накоплен опыт комбинированного способа применительно к индивидуальным гидрогеологическим особенностям объектов при промышленном освоении железорудных месторождений КМА.

Осушение Лебединского месторождения

Лебединское месторождение КМА расположено в среднем течении р. Осколец. Оно приурочено к складчатому антиклинальному комплексу метаморфических пород (железистых кварцитов, кристаллических сланцев и других пород) архейского и докембрийского возрастов, слагающих фундамент Русской платформы.

Рудовмещающие метаморфические породы трансгрессивно перекрываются породами палеозойского возраста (глинистые брекчии мощностью от 1 до 16 м), юрского возраста (глины, пески мощностью до 30—40 м), мелового возраста (глины, пески, мергели общей мощностью до 40—50 м), глинами третичного возраста (мощностью до 10—15 м) и четвертичными образованиями (мощностью до 30 м) (рис. 17).

На Лебединском месторождении выделяются три основных водоносных горизонта (два из них в породах мелового возраста): а) безнапорный в трещиноватых мелах и мергелях; б) в сеноман-альбских песках; в) в зоне выветривания рудно-кристаллических докембрийских пород.

Мело-мергельный и сеноман-альбский водоносные горизонты гидравлически повсеместно связаны между собой и образуют практически один водоносный горизонт, оказывающий влияние на обводненность месторождений. Коэффициенты фильтрации мело-мергельной толщи изменяются от 3 до 50 м/сут, сеноман-альбских песков — от 11 до 20 м/сут.

В настоящее время в результате длительного водопонижения при строительстве, эксплуатации Лебединского карьера и работы городских водозаборов уровни водоносного горизонта в контурах горных разработок снижены на 45—50 м, мело-мергельная толща полностью осушена и разгрузка подземных вод происходит по подошве песков в систему внутреннего дренажного контура карьера.

Водоносный горизонт рудно-кристаллических пород приурочен к верхней 50-метровой зоне окисленных кварцитов и богатых железных руд. Горизонт напорный, пьезометрический уровень совпадает с уровнем водоносного горизонта в сеноман-альбских породах. Нижним водоупором рудно-кристаллического горизонта являются плотные кварциты, верхним — пласт юрских отложений. Значение коэффициента фильтрации рудно-кристаллического водоносного горизонта близко к 1 м/сут. Залежи богатых

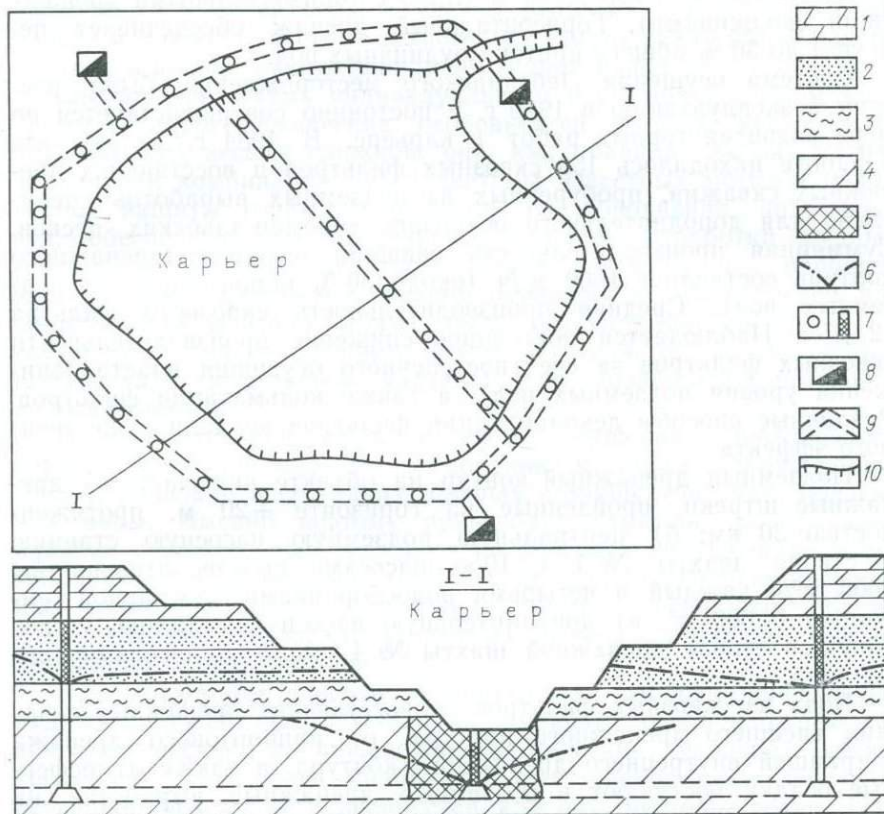


Рис. 17. Схема осушения первой очереди Лебединского карьера КМА.

1 — мергель; 2 — песок; 3 — глина; 4 — рудовмещающие породы; 5 — рудная залежь; 6 — депрессионная воронка; 7 — сквозные фильтры; 8 — водоотливная шахта; 9 — подземные дренажные выработки; 10 — контур карьера

руд и трещиноватые кварциты отличаются значительной водообильностью.

В процессе эксплуатации месторождений пьезометрический напор рудно-кристаллического горизонта в Лебединском карьере снижен на 65—70 м. Сложные гидрогеологические условия и значительные притоки подземных вод обусловили принятие на месторождении специальных инженерных решений по осушению (см. рис. 17). Действующая система осушения карьера включает два дренажных контура: а) внешний, состоящий из водопонижающих скважин, обеспечивающих предварительное осушение в период строительства объекта, переоборудуемых после проходки подземных дренажных горных выработок в сквозные фильтры; б) внутренний, сооружаемый в нижней части песчаной толщи в виде горизонтального прибортового дренажа на постоянных бортах карьера и дренажных траншей с пригрузкой

фильтрующих откосов щебнем (либо с горизонтальными дренажными скважинами). Горизонтальный дренаж обеспечивает перехват до 30 % общего притока рудничных вод.

Система осушения Лебединского месторождения была введена в эксплуатацию в 1960 г. и постоянно совершенствуется по мере развития горных работ в карьере. В 1984 г. на объекте в работе находилось 150 сквозных фильтров и восстающих дренажных скважин, пробуренных из подземных выработок специально для дополнительного осушения сеноман-альбских песков. Суммарная производительность скважин внешнего дренажного контура составляет 1600 м³/ч (около 30 % общего притока подземных вод). Средняя производительность сквозного фильтра 12 м³/ч. Наблюдается постоянное снижение производительности сквозных фильтров за счет постепенного осушения пласта (снижения уровня подземных вод), а также кольматации фильтров. Различные способы декольматации фильтров не дали существенного эффекта.

Подземный дренажный контур на объекте включает: а) дренажные штреки, пройденные на горизонте +20 м, протяженностью 30 км; б) центральную подземную насосную станцию в стволе шахты № 1 с 10-ю насосами производительностью 1000 м³/ч каждый и четырьмя водосборниками суммарной емкостью 14 600 м³; в) дополнительную насосную станцию, устроенную в стволе дренажной шахты № 4, с пятью насосами того же типа.

Вода из сквозных фильтров и восстающих дренажных скважин внешнего дренажного контура, от прибортового дренажа и траншей внутреннего дренажного контура, а также атмосферные осадки поступают в подземные дренажные выработки на горизонте +20 м через водосборные скважины.

Откачка воды производится центральной подземной насосной станцией ствола шахты № 1, насосной станцией ствола шахты № 4 и насосной станцией заглубленного водоотлива кварцитового карьера на горизонте 100 м.

Кроме того, в подземном дренажном комплексе построены две автономные насосные станции — подземный водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения горнорудного предприятия. Из общего объема откачиваемых на Лебединском карьере рудничных вод 60 % используется для технического водоснабжения обогатительных фабрик, 8—10 % — для хозяйственно-питьевых нужд, и эта доля непрерывно увеличивается.

Для наблюдения за развитием водопонижения и оценки эффективности осушения на предприятии создана специальная сеть наблюдательных гидрогеологических скважин. Учитывая особенности гидрогеологических условий объекта, наблюдательные скважины пробурены раздельно на основные водоносные горизонты — в породах мелового возраста, а также в породах руднокристаллического комплекса. Наблюдательные скважины располагаются ярусным способом по радиально-лучевой системе,

расходящейся от карьера, с учетом развития депрессионной воронки, а также с учетом техногенного источника интенсивного питания в районе хвостохранилищ и гидроотвалов.

Специальная схема индивидуального осушения с учетом конкретных гидрогеологических особенностей рудных месторождений является весьма сложной; она, как правило, состоит из рациональной комбинации целой системы известных методов инженерной защиты горных разработок от обводнения подземных вод, обеспечивающих безопасные условия отработки рудных месторождений. На конкретном примере показано, что в общем виде сложная дренажная система осушения индивидуальной направленности успешно может быть осуществлена по принципу «осушение — водоснабжение», включая устройства в дренажных выработках автономного каптажа для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В рассмотренной сложной схеме осушения Лебединского карьера мало учитываются требования к охране окружающей среды, и прежде всего таких важных компонентов, как подземные воды. Именно поэтому происходит заметное дренирующее влияние осушительных устройств на действующие внешние водозаборные сооружения, используемые для водоснабжения населенных пунктов, а также загрязнение пресных подземных вод за счет неизбежных инфильтрационных потерь с площади хвостохранилища и гидроотвалов.

При подземном способе отработки для глубоко залегающих рудных залежей (до 500—800 м), имеющих особо сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия, также требуется применение индивидуальных специальных способов осушения, исходя из особенностей каждого месторождения. При этом целесообразно учитывать следующие положения.

1. Условия залегания рудных залежей на таких объектах при их отработке всегда требуют применения глубинного дренажа. Последний может оказать существенное дренирующее влияние на режим пресных подземных вод водоносных горизонтов в надрудной толще пород, которые, как правило, интенсивно используются для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и сельскохозяйственных населенных пунктов. Причем, как показывают опытные работы, дренирующее влияние осушительных устройств может распространяться на большие территории, прилегающие к рудному объекту. Поэтому выбор рациональных схем осушения горных разработок на месторождениях должен быть достаточно обоснован не только с целью решения инженерно-технической задачи, определяющей обеспечение безопасной отработки объекта, но и решения второй очень важной задачи — охраны окружающей среды, и прежде всего защиты пресных подземных вод от их истощения.

2. Очень важно в схемах осушения горных разработок предусматривать возможное применение противофильтрационных завес, что способствует значительному уменьшению степени не-

гативного влияния дренажа на изменение свойств окружающей среды.

Наиболее широкое применение противofильтрационные завесы получили в гидротехническом строительстве в нашей стране, с целью фильтрационных потерь в обход и под плотиной. В горном строительстве пока накоплено мало опыта в применении противofильтрационных завес, за исключением специальных способов проходки шахтных стволов. Тем не менее применение таких защитных мер при шахтной отработке рудных месторождений целесообразно, хотя при этом возникает необходимость решения довольно сложных задач по устройству завес. Осушение горных разработок под защитой противofильтрационных завес может явиться эффективным средством защиты пресных подземных вод от их истощения. Возможности применения этого метода осушения, выбор наиболее рациональных его параметров (глубины заложения, степени изоляции и т. д.), а также оценка эффективности метода в каждом случае должны выполняться с учетом особенности гидрогеологических условий конкретного объекта, а также с помощью метода математического моделирования на ЭВМ. Для приближенных оценок можно использовать аналитические расчеты, основы которых приводятся в работах [21, 22].

3. Не менее важным фактором в правильном выборе схемы осушения является собственно технология отработки рудных залежей. Для сложных условий месторождений отбор рудных залежей необходимо производить весьма тщательной закладкой выработанного пространства.

Эти технологические схемы целесообразно применять при отработке таких рудных месторождений (Яковлевское, Гостищенское, Висловское, КМА), на площади которых в разрезе надрудной толщи залегают 12 водоносных горизонтов, из них в верхних распространены пресные подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных городов.

В заключение отметим, что осушение горных разработок является мощным и неизбежным техническим средством, обеспечивающим безопасные в гидрогеологическом отношении условия промышленной отработки рудных месторождений. Задачи по использованию всех полезных компонентов месторождения и охраны окружающей среды состоят в применении таких схем осушения горных разработок на рудных месторождениях, которые бы существенно снижали негативное влияние техногенеза на изменение свойств окружающей среды и, с другой стороны, обеспечивали максимальное использование рудничных вод.

С учетом этих аспектов в табл. 3 в обобщенном виде приведен перечень и краткая характеристика наиболее рациональных схем осушения горных разработок, которые, по существу, следует рассматривать как одно из основных природоохранных мероприятий при промышленном освоении рудных месторождений.

Принципиальные схемы осушения горных разработок и охраны окружающей среды (природоохранные мероприятия)

Схема осушения	Целевое назначение	Основные сооружения	Рекомендации по внедрению
Осушение—водоснабжение	Осушение горных разработок и использование рудничных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения	Внутришахтный (или внутрикарьерный) водоотлив и автономный каптаж в подземных горных выработках Внешние осушительные устройства как тип каптажа	На рудных месторождениях с относительно небольшими водопритоками
Осушение—водоснабжение—орошение	То же, а также для производственного водоснабжения и орошения	То же	На рудных месторождениях со значительными водопритоками
Осушение—захоронение	Осушение горных разработок и охрана окружающей среды	Внутришахтный (или внутрикарьерный) водоотлив, внешние осушительные устройства и система поглощающих (нагнетательных) скважин	Месторождения, на которых распространены минерализованные рудничные воды
Осушение под защитой противодиффузионной завесы	То же	Внутришахтный (или внутрикарьерный) водоотлив и внешнее кольцо противодиффузионных завес	На месторождениях со значительными водопритоками

Глава 5 О ТЕХНОГЕНЕЗЕ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Общие положения

Как отмечалось выше, в практике горнодобывающей промышленности возникли проблемы охраны окружающей среды в районах эксплуатации рудных месторождений и использования рудничных вод для водоснабжения или орошения. Первая проблема возникла под влиянием высоких темпов развития производительных сил нашей страны, и прежде всего горнодобывающей промышленности — основного поставщика для народного хозяйства важнейших природных минерально-сырьевых ресурсов. Данные, характеризующие темпы развития горнодобывающей промышленности, достаточно подробно представлены в работах [23, 33, 34] и др. Причины зарождения проблем следующие.

1. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых в горнодобывающей промышленности ведется в нашей стране на больших глубинах. Например, в угольной промышленности — до 1200—1500, а по проекту — более 2000 м.

2. Высокие темпы развития производительных сил определили необходимость освоения новых рудных месторождений, которые находятся в очень сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях. Промышленная их отработка потребует предварительного, а затем постоянного осушения, и поэтому эксплуатация этих месторождений всегда сопровождается длительной откачкой подземных вод из водоносных горизонтов.

3. Наша горнодобывающая промышленность нередко одновременно осваивает целую группу близко расположенных друг к другу месторождений, охватывая при этом осушением значительные площади (до нескольких тысяч квадратных километров) и коренным образом преобразовывая ландшафтные условия обширных территорий.

Большие глубины отработки месторождений твердых полезных ископаемых достигнуты при промышленном освоении в Кировожемском железорудном бассейне, на некоторых объектах КМА и в других районах. Освоение глубоких рудных или угольных горизонтов всегда приводит к изменению окружающей среды.

Наиболее существенное влияние на изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в районах горнодобывающей промышленности оказывает осушение горных разработок при эксплуатации месторождений. Достаточно в этом отношении привести несколько примеров. В районе КМА при осушении железорудных карьеров подземные воды откачиваются из недр в количестве до 50—60 тыс. м³/ч, а на некоторых полиметаллических месторождениях в паводковый период — от 18—20 до 35 тыс. м³/ч. В пределах Южного Урала на

площади большой группы медных месторождений подземные воды из недр откачиваются в количестве 60—70 тыс. м³/ч.

При осушении шахт Подмосковного угольного бассейна пресные подземные воды откачиваются в количестве 60—70 тыс. м³/ч, т.е. намного больше, чем отбор пресных подземных вод для целей водоснабжения крупных городов и промышленных предприятий. Совершенно неоправданно то, что пресные шахтные воды Подмосковного угольного бассейна не используются для водоснабжения. В результате интенсивного водоотлива шахтных вод в некоторых районах, прилегающих к шахтным полям, произошло оседание поверхности и заболачивание территории.

Такой весьма интенсивный отбор подземных вод из недр земли при осушении горных разработок приводит к коренному нарушению гидрогеологических и гидрологических условий целых районов и областей, что, несомненно, сказывается на изменении экологического качества окружающей среды. Так, в районах влияния шахтного водоотлива в Подмосковном угольном бассейне отмечается заметное уменьшение поверхностного стока в мелких реках, в них уменьшается питание за счет дренирования подземных вод.

На некоторых рудных месторождениях под влиянием мощного шахтного водоотлива были полностью сдренированы крупные родники (с расходом до 300—500—700 л/с), на базе которых в прилегающих к предприятию районах было организовано оазисное орошение.

Аналогичные глубокие ландшафтные изменения наблюдаются при обработке угольных месторождений Донбасса и Западного Донбасса, рудных месторождений в Центральном Казахстане, многих объектов на Рудном Алтае, Южном Урале и других горнодобывающих районах нашей страны.

Особенность интенсивного отбора подземных вод при осушении горных разработок рудных месторождений состоит еще и в том, что на объектах происходит довольно глубокое осушение водоносных пластов — на глубинах 300—500—800 м. Таким образом, на рудных месторождениях при их эксплуатации формируется очень мощная техногенная зона аэрации, в которой довольно интенсивно развиваются техногенные процессы окисления рудной минерализации.

Промышленная обработка рудных месторождений открытым или подземным способом приводит не только к изменению гидрогеологических условий, но и к значительному изменению общих ландшафтных условий района, особенно когда одновременно осваивается целая группа объектов. В этом отношении можно привести пример обработки группы месторождений в Узбекистане. Промышленное освоение большой группы объектов, близко расположенных друг к другу, производится в этом районе преимущественно открытым способом — карьерами, а также штольневой системой со слепыми шахтами. В результате эксплуатации карьеров в горном районе площадью несколько сот квадратных

километров образовалось огромное по объему отвальное хозяйство пустых пород и окисленных руд, что коренным образом нарушило общий географический ландшафт, гидрологические условия, ухудшило условия развития растительного покрова. Аналогичные изменения ландшафтных условий отмечаются и при эксплуатации большой группы железорудных месторождений Криворожского бассейна.

На горнорудных предприятиях, где рудные залежи приурочены к карбонатным породам, при осушении горных выработок под влиянием суффозионно-карстовых процессов формируется типичный техногенный карстовый ландшафт с многочисленными карстовыми провальными воронками. Так, при эксплуатации группы рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам, в сфере влияния шахтного строительства фронтом до 70 км в результате осушения карбонатных пород образовалось на поверхности более 1500 карстовых воронок, что в значительной степени осложнило строительство поверхностных сооружений.

Дренажирование подземных вод непосредственно горными выработками очень часто приводит к их химическому загрязнению под влиянием процессов окисления рудной минерализации, а также бытовых стоков. На некоторых медных объектах рудничные воды имеют повышенное содержание меди, железа и других элементов, что требует их предварительной очистки перед сбросом в окружающую среду.

При подземном способе обработки месторождений полезных ископаемых без закладки выработанного пространства (с обрушением кровли) в пределах горных разработок всегда формируется мульда сдвижения горных пород и, как следствие, отмечается деформация поверхности. Все это приводит к коренному изменению ландшафта.

Под влиянием деформации отвалов пустых пород, отсыпка которых производится без достаточного инженерно-геологического обоснования (например, оползневые процессы в горных условиях), а также процессов окисления вкрапленной рудной минерализации (формируются потоки кислых вод), могут происходить изменения ландшафтных условий, деформация поверхностных сооружений и загрязнение окружающей среды.

Изменение свойств окружающей среды происходит и при эксплуатации крупных групповых водозаборов подземных вод, предназначенных для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения рудных объектов. Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности определило во многих районах страны интенсивное использование подземных вод для целей водоснабжения. На многих предприятиях в связи с возросшей потребностью в подземных водах были построены крупные водозаборные сооружения с отбором подземных вод на отдельных групповых водозаборах от 500—800 до 5000—7000 л/с. С этой целью были построены групповые линейные и площадные каптажные сооружения.

Таким образом, на горнорудных предприятиях четко отмечается тенденция отбора подземных вод из недр земли с двойной целью. С одной стороны, для осушения горных разработок и создания таким образом безопасных условий отработки месторождения, с другой — для решения не менее важной проблемы — хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения рудных объектов.

С точки зрения рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды крайне необходимо совмещать решения указанных выше двух проблем, что является неотъемлемой частью современных схем осушения и основных задач гидрогеологических исследований. К сожалению, на практике на рудных объектах очень редко решается рациональная схема осушение—водоснабжение, при которой полностью используются подземные воды осушительных устройств для целей водоснабжения города и отдельных предприятий.

При эксплуатации крупных водозаборных сооружений часто возникают две весьма ответственные задачи. Во-первых, происходит дренирование влаги на значительной площади и, следовательно, изменение окружающей среды, во-вторых, на практике часто формируются процессы взаимодействия между водозаборными сооружениями и осушительными устройствами горнорудных предприятий. В результате этого каптажные сооружения выходят из строя, и для бесперебойного водоснабжения объекта приходится перебазировать водозаборы подземных вод. Например, на одном из предприятий в Казахстане по этой причине пришлось трижды перебазировать каптаж подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения города, аналогичные мероприятия проводились на других объектах [27, 28].

Выше подчеркивалось, что влияние на изменение свойств окружающей среды при эксплуатации рудных месторождений происходит не только при осушении горных разработок и эксплуатации водозаборных сооружений. На многих горнорудных предприятиях действуют обогатительные фабрики и металлургические заводы (предприятия второй и третьей групп по степени влияния на окружающую среду). Происходит загрязнение поверхностных и подземных вод на участках хранения жидких и твердых отходов за счет их неизбежных потерь из хвостохранилищ, а также загрязнения атмосферы под влиянием сброса газовых отходов металлургических заводов. На многих горнорудных предприятиях Урала, Средней Азии и Казахстана городские территории или жилые поселки располагаются в непосредственной близости к границам горных разработок, что определяет техногенные изменения окружающей среды под влиянием горного строительства. Кроме того, непосредственно на территории городов горнорудных предприятий, особенно расположенных в аридной зоне страны, широко применяется орошение земель, поливка садов, улиц и т. д., а организованные в городах централизованное водоснабжение и канализация приводят к неизбежной потере воды из водопровода

и канализации. Под влиянием инфильтрации поливных вод и воды из водопроводов в грунтах формируется горизонт почвенных вод, которые часто затапливают фундаменты, формируется процесс подтопления городских построек со всеми вытекающими последствиями.

При эксплуатации различных объектов горнорудных предприятий, таким образом, происходят коренные изменения: а) гидрологического режима местной речной сети в результате интенсивного и глубокого дренирования поверхностных вод горными выработками; б) гидродинамического режима под влиянием осушения горных разработок (проявляется в существенном изменении уровенного режима, напоров градиентов фильтрационного потока подземных вод, истощение запасов подземных вод); в) гидрогеохимического режима подземных и поверхностных вод на участках сброса неочищенных рудничных вод, хвостохранилищ (гидроотвалов), а также складирования пустых пород; г) геодинамического режима в сфере влияния горных разработок.

Из приведенных описаний видно, что высокие темпы развития горнодобывающей промышленности привели к новой фазе более интенсивного взаимодействия в системе человек—природа и к более глубокому негативному воздействию на изменение окружающей среды. Это очень важное обстоятельство обязывает в основных направлениях большого комплекса гидрогеологических и инженерно-геологических исследований предусматривать решения задач, кроме традиционных в горнорудной промышленности, а также решения новых задач в области максимального использования для практических нужд подземных вод при осушении горных разработок, рациональное размещение на предприятии всех основных его объектов с учетом охраны и защиты окружающей среды.

Именно в этом и состоит сущность современных требований к комплексным исследованиям рудных месторождений на всех стадиях их изучения, эксплуатации и консервации.

Основные понятия и их определения

Целесообразно рассмотреть некоторые научные понятия, их определения, а также содержания гидрогеологических аспектов общей проблемы охраны и защиты окружающей среды применительно к воздействию на нее горнодобывающей промышленности.

К научным понятиям следует отнести: окружающую среду; геологическую среду; техногенные процессы; техногенез; гидрогеологические аспекты общей проблемы [23].

При некотором упрощении под окружающей средой, применительно к рассматриваемой проблеме, следует понимать все, что нас окружает, все то, с чем прямо или косвенно связана активная жизненная и производственная деятельность человека. Если оценивать окружающую среду на уровне биосферы в целом,

то в этом случае ее можно рассматривать как четырехкомпонентную систему: атмосфера—гидросфера—литосфера—почва. Оптимальный режим системы является весьма благоприятным условием для развития биосферы в целом. В пределах этих четырех компонентов формируется единая водная оболочка нашей планеты, поверхностную часть которой принято называть гидросферой, а подземную—гидрогеосферой, располагающейся в пределах литосферы и почвенного покрова. В пределах гидрогеосферы распространены все типы подземных вод различного фазового состояния [28].

На уровне обитания и производственной деятельности человека окружающую среду следует рассматривать уже как шестикомпонентную систему: атмосфера—гидросфера—литосфера—почва—животный мир—растительность. Основные компоненты окружающей среды постоянно находятся во взаимодействии, формируя закономерный механизм прямых и обратных связей. Нарушение закона прямых и обратных связей всегда приводит к изменению режима взаимодействия основных природных компонентов окружающей среды. Такие нарушения происходят, например, в результате инженерной деятельности человека.

Природные, в том числе подземные, воды являются неотъемлемой частью окружающей среды и играют решающую роль в жизни и производственной деятельности человека. В самом деле, вода—это та необходимая составная часть окружающей среды, которая создает условия для существования и развития всего живого на земле (биосферы). Исключительно большое значение в формировании благоприятного режима окружающей среды человека имеет исторически сложившийся глобальный кругооборот влаги на нашей планете.

Окружающая среда, как любая материальная система, имеет свои свойства, а также оптимальный режим для развития биосферы. Наиболее существенным свойством окружающей среды является саморегулирующая ее способность. Нарушение оптимального режима окружающей среды часто происходит под влиянием негативного воздействия технических процессов, что ведет к ухудшению ее экологического качества.

Окружающую среду и ее взаимодействие с человеком, как весьма сложную материальную систему, изучает большая группа наук, ведущая роль при этом принадлежит экологической науке. С этих позиций экология является наукой многогранной и синтетической. Наряду с этим отдельные аспекты общей проблемы «Охраны окружающей среды» изучает специальная группа наук. Так, геологические аспекты общей проблемы изучает группа наук о земле, и прежде всего гидрогеология, инженерная геология, геокриология и др. В связи с этим важно определить такое научное понятие, как геологическая среда. С позиции общей проблемы геологическую среду следует прежде всего рассматривать как неотъемлемую и составную часть окружающей среды обитания и производственной деятельности человека. По своему содержанию

геологическая среда представляет собой верхнюю часть литосферы, в строении которой принимают участие четыре основных компонента: горные породы — подземные воды — природные газы — микроорганизмы.

Эти компоненты в естественных и нарушенных условиях постоянно находятся во взаимодействии, формируя в земной коре динамическое равновесие. В историческом плане геологическую среду следует рассматривать как функцию внутреннего развития нашей планеты. Именно поэтому ее изучение следует вести с исторических позиций. При изучении геологической среды наибольший интерес представляет та ее часть, с которой непосредственно связана активная форма жизни и производственной деятельности человека. В горнодобывающей промышленности глубина отработки месторождений достигает 2000 м, а при добыче нефти и газа — 6—7 км.

Именно в этой сфере при промышленной обработке рудных месторождений постоянно возникают техногенные процессы, влияние которых и приводит к изменению свойств геологической среды и нередко к изменению свойств окружающей среды в целом. В различных климатических зонах нашей страны в верхних слоях геологической среды биосфера развивается по-разному. В связи с этим целесообразно в региональном масштабе выделить три зоны естественной геологической среды: аридную, гумидную и криогенную. Это положение важно учитывать при оценке негативного влияния техногенных процессов на изменения свойств геологической среды при осушении горных разработок на рудных месторождениях, расположенных в различных климатических зонах.

Геологическая среда в естественных и нарушенных условиях обладает определенными физическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими, биологическими свойствами. Свойства отдельных компонентов геологической среды достаточно хорошо изучены. Однако изменения этих свойств в условиях взаимодействия основных компонентов и особенно при нарушенном режиме являются весьма сложными и в настоящее время очень слабо изучены. Из фундаментальных свойств геологической среды можно отметить: а) изменчивость в пространстве и во времени; б) неоднородность, проявляющуюся в гидрогеологическом отношении в фильтрационных свойствах различных горных пород; в) дискретность, проявляющуюся в таких свойствах горных пород, как трещиноватость, закарстованность и др.

Большое значение для оценки горнотехнических условий рудных месторождений и формирования при эксплуатации техногенных процессов имеют гидрогеологические и инженерно-геологические свойства геологической среды: водопроницаемость горных пород, их устойчивость в горных выработках; условия взаимодействия твердой и жидкой фаз геологической среды с природными и техногенными газами и с микроорганизмами, при которых мо-

гут происходить изменения свойств горных пород и подземных вод.

Например, результаты изучения свойств истинных песков-пльвунов показали, что в их свойствах решающее значение принадлежит биогеохимическим процессам, возникающим в результате жизнедеятельности газовыделяющих микроорганизмов. Было установлено, что в водонасыщенных дисперсных породах происходит накопление газообразных продуктов, образующихся при жизнедеятельности микроорганизмов. Под влиянием этих процессов в песках, насыщенных подземными водами, возникает избыточное внутрипоровое давление. Последнее и является энергетическим фактором формирования специфических свойств песков-пльвунов.

Важную роль в техногенном изменении свойств геологической среды могут играть тионовые бактерии, способные интенсивно окислять сероводород до серной кислоты. Примечателен в этом отношении случай, происшедший при строительстве Киевского метрополитена, когда в подземных горных выработках под влиянием жизнедеятельности тионовых бактерий пластовые воды приобрели интенсивную агрессивность на железобетонные конструкции метрополитена, что осложнило на некоторых участках его строительство.

Процессы формирования в геологической среде природных и техногенных газов и их взаимодействия с горными породами и подземными водами изучены довольно слабо. Между тем практика промышленного освоения рудных месторождений показывает, что постепенно, по мере увеличения глубины отработки на рудных объектах появляются природные газы, осложняющие освоение рудных залежей. По степени воздействия на некоторые компоненты геологической среды и формирование техногенных процессов все природные газы целесообразно подразделить на две группы: химически активные и инертные. Наиболее существенное влияние на изменения свойств отдельных компонентов геологической среды происходит под влиянием химически активных газов — углекислого и сероводорода. Это взаимодействие, как показывает опыт освоения некоторых рудных месторождений, разрушает связанные скальные породы, превращая их в неустойчивую горную массу, что усложняет горнотехнические условия их отработки. Природные газы в геологической среде могут находиться в свободном абсорбированном состоянии или присутствовать в подземных водах.

Геологическая среда обладает определенными физическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими, геохимическими и биологическими свойствами. К фундаментальным общим свойствам геологической среды следует отнести: 1) изменчивость в пространстве и во времени; 2) неоднородность, проявляющуюся в неоднородности фильтрационных свойств различных горных пород (водопроницаемых), слабоводопроницаемых); 3) саморегулирующую способность, т. е. способность среды изменяться в новых

естественных и нарушенных условиях; 4) дискретность, проявляющуюся в таких свойствах пород, как трещиноватость, закарстованность, тектоническая нарушенность и др.

Под влиянием техногенных процессов, формирующихся при эксплуатации основных объектов горнорудного предприятия, перечисленные выше свойства геологической среды могут изменяться в позитивном или в негативном направлении по отношению к биосфере [20, 22, 23].

По существу, вся деятельность горнорудного предприятия происходит в сфере геологической среды, особенно на участке горных разработок. В связи с этим необходимо рассмотреть некоторые типовые модели геологической среды применительно к горному строительству.

По условиям проходки горных выработок, по степени обводненности, промышленного освоения и формирования техногенных процессов и их влияния на изменения свойств геологической среды в указанном направлении для разнообразных условий рудных месторождений можно выделить четыре наиболее распространенных типовых разреза геологической среды.

Первый тип геологической среды представлен коренными скальными породами различного литологического состава (рис. 18): интрузивные, эффузивные и метаморфические терригенные породы, характеризующиеся высокими прочностными связями между минералами. По существу, этот тип объединяет скальные породы, внутрискластными элементами которых является открытая мелкая региональная трещиноватость различного происхождения. Эта среда благоприятна для фильтрации и накопления подземных вод (в зоне выветривания); с глубиной степень трещиноватости пород, как отмечалось, заметно уменьшается и в коренных породах водопроявление наблюдается только по тектоническим зонам.

В зонах тектонических нарушений часто отмечается повышенная трещиноватость пород и их водопроницаемость. В гидрогеологическом отношении горные породы, слагающие первый тип геологической среды, характеризуются фильтрационной неоднородностью в плане и разрезе. В этих породах формируются два типа подземных вод: трещинно-грунтовые и трещинно-жилые. В этом случае если с поверхности скальные породы перекрываются четвертичными образованиями небольшой мощности, то могут быть распространены и грунтовые воды. Все типы подземных вод являются пресными гидрокарбонатно-кальциевого состава.

На некоторых рудных месторождениях в породах первого типа геологической среды встречается углекислый газ глубинного происхождения и газы метанового состава (рудные месторождения Сибири и Кавказа), до некоторой степени осложняющие промышленную отработку объектов. Микроорганизмы и их роль в строении первого типа геологической среды изучены очень слабо. В подавляющем большинстве случаев горные породы, слагающие второй тип геологической среды, являются устойчивыми в под-

земных горных выработках, в уступах и бортах карьеров, за исключением зон тектонических нарушений, в которых породы являются неустойчивыми и требуется их частичное крепление.

Как показывает практика, при осушении горных разработок существенных изменений свойств геологической среды первого типа не происходит; в ослабленных зонах тектонических нарушений могут развиваться фильтрационно-суффозионные техногенные процессы, с которыми связана эрозийная деятельность подземных вод и деформация горных выработок — вымывание мелких фракций из пород зоны тектонических нарушений.

Второй тип геологической среды объединяет группу полускарпальных горных пород (рис. 19): различные серицитовые и хлоритовые сланцы, метаморфические эффузивы и т. д., слабоустойчивые в подземных горных выработках, а также по уступам и бортам карьеров. На некоторых медных месторождениях Урала и полиметаллических месторождениях Иртышской зоны смятия (северо-восточная часть Казахстана) метаморфические хлорит-серицитовые рудовмещающие сланцы при увлажнении теряют связность и приобретают свойства пластичности и текучести. Проходка горных выработок в этой группе пород требует, как

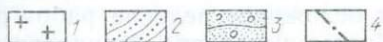
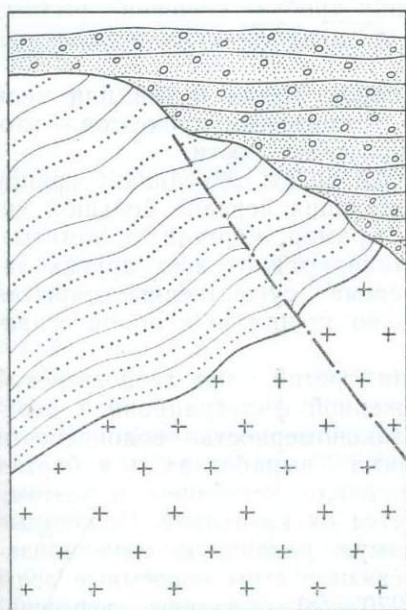


Рис. 18. Литологический разрез первой модели геологической среды.

1 — интрузивные породы; 2 — кварциты; 3 — рыхлые четвертичные образования; 4 — тектоническое нарушение

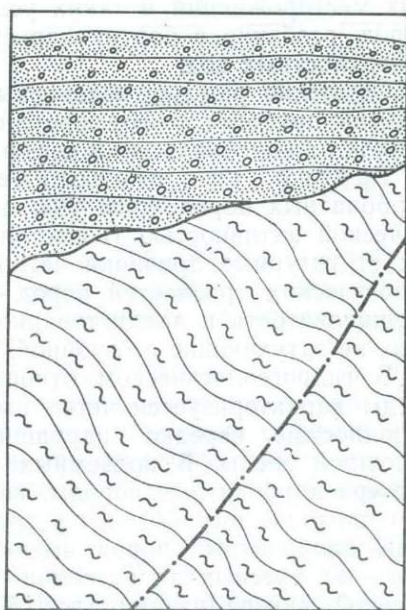


Рис. 19. Литологический разрез второй модели геологической среды.

1 — сланцы; 2 — песчано-галечниковые образования; 3 — тектоническое нарушение

правило, сплошного крепления, а по бортам карьера — их осушения.

Средой для формирования в породах трещинно-грунтовых вод является мелкая региональная трещиноватость, которая с глубиной (ниже границы зоны выветривания) быстро затухает, и водоносность проявляется только по зонам тектонических нарушений. Трещинно-грунтовые воды чаще всего являются пресными гидрокарбонатно-кальциевого состава. Однако их химический состав при эксплуатации медных месторождений под влиянием процессов окисления может изменяться и приобретать кислую реакцию. При эксплуатации медных месторождений может иметь место техногенная газоносность (при подземных пожарах массивных руд).

Существенным в строении второй модели геологической среды является распространение с поверхности довольно мощных (до 80—120 м) рыхлых песчано-галечниковых аллювиальных и делювиально-пролювиальных образований. Породы эти, как известно, характеризуются хорошей водопроницаемостью, формируя в геологической среде выдержанные коллекторы для накопления грунтовых вод, которые чаще всего имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами. Промышленное освоение рудных месторождений в таких условиях требует осушения рыхлых пород, особенно в бортах карьера, а также отвод или изоляцию поверхностных вод.

Осушение рыхлых водоносных пород всегда в той или иной степени приводит к формированию техногенных процессов — вторичной их консолидации и деформации поверхности.

Третий тип геологической среды объединяет группу карбонатных пород (рис. 20), обладающих нередко большой химической активностью (известняки, мрамор, мергели, доломиты). Их структурные признаки четко отличаются от всех других литологических разновидностей пород — весьма существенны открытая трещиноватость и закарстованность по мощности и по простиранью, не затухающие с глубиной.

В гидрогеологическом отношении третий тип геологической среды характеризуется четко выраженной фильтрационной неоднородностью, нередко нарушая закономерность водоносности сплошной среды. В подземных горных выработках и в бортах карьера карбонатные породы, как правило, устойчивы, и поэтому при проходке выработок не требуется их крепление. Подземные воды карбонатных пород имеют самую различную минерализацию — от пресных до рассолов. В связи с этим подземные воды высокой минерализации (до 150—270 г/л) обладают агрессивностью, что в значительной степени осложняет ведение работ по осушению горных разработок (требуется установка специальных антикоррозионных насосов и другого оборудования, а также принятие мер защиты окружающей среды от загрязнения). Опыт осушения горных разработок на некоторых объектах подтверждает этот вывод.

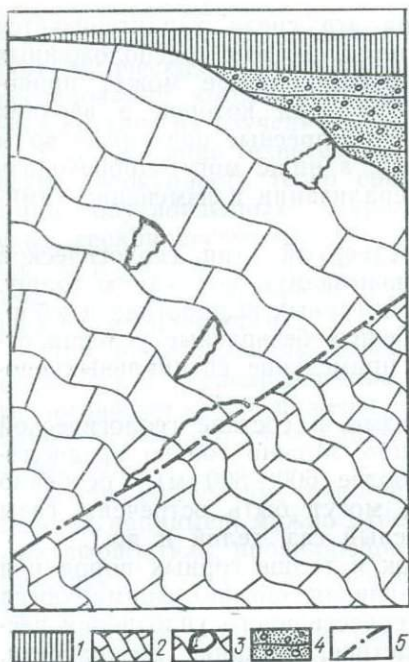


Рис. 20. Литологический разрез третьей модели геологической среды.

1 — покровные отложения; 2 — карбонатные породы; 3 — карстовая полость; 4 — рыхлые образования; 5 — тектоническое нарушение

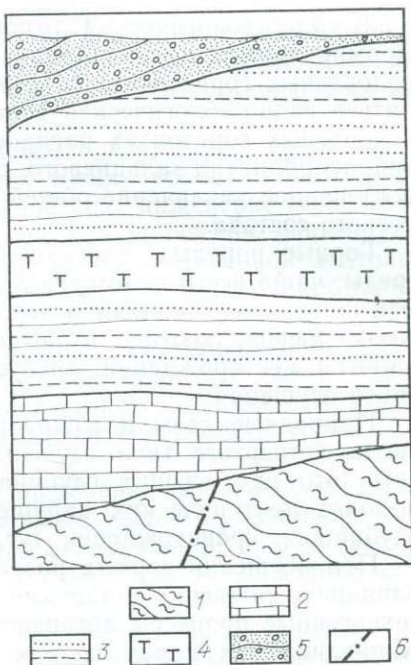


Рис. 21. Литологический разрез четвертой модели геологической среды.

1 — рудовмещающие породы; 2 — известняки; 3 — песчано-глинистые породы; 4 — мергель; 5 — рыхлые образования; 6 — тектоническое нарушение

В глубоких рудных горизонтах (более 500—800 м) могут быть распространены газы глубинного происхождения — углеводородного состава, гелий, углекислый газ; биогенного происхождения — сероводород и др.

Микроорганизмы геологической среды третьего типа не изучены. При осушении водоносных карбонатных пород на рудных месторождениях часто развиваются вторичные суффозионно-карстовые техногенные процессы и, как следствие, происходит деформация поверхности (образование на поверхности провалных воронок) и поверхностных сооружений.

Четвертый тип геологической среды представлен в разрезе многопластовой системой (рис. 21), в строении которой принимают участие переслаивания водоносных пород различного литологического состава (пески, песчаники, мергели, известняки) и слабопроницаемых, реже водонепроницаемых пород (разделяющие слои — глины, глинистые сланцы и др.). Мощность надрудной толщи пород изменяется от 90—150 до 600—800 м. Рудовмещающие породы представлены древними метаморфическими образованиями.

В гидрогеологическом отношении эта среда характеризуется формированием водонапорной системы, этажно расположенных водоносных горизонтов. В вертикальном разрезе может проявляться гидрогеологическая зональность, при которой в верхних водоносных горизонтах распространены пресные подземные воды гидрокарбонатно-кальциевого состава, а ниже могут происходить постепенное увеличение общей минерализации и изменение химического состава.

Горные породы, слагающие четвертый тип геологической среды, чаще всего формируют так называемую надрудную толщу. Эти породы неустойчивы в подземных горных выработках и в бортах карьеров, поэтому, чтобы обеспечить безопасные условия отработки месторождений, требуется применение специальных способов осушения.

Природные газы и микроорганизмы в составе геологической среды четвертого типа изучены слабо. Можно только предполагать, что на больших глубинах (более 600—800 м), особенно в зонах тектонических нарушений, могут быть встречены газы глубинного происхождения (углекислый газ, гелий и др.).

При осушении горных разработок в толще горных пород под влиянием снижений пластового давления обычно формируются техногенные процессы вторичного депрессионного уплотнения песчано-глинистых пород и, как следствие, оседание поверхности, с которым может быть связана деформация стволов шахт и подземных коммуникаций. Проседание поверхности также приводит к изменению общего ландшафта, периодическому затоплению территории и т. д. (например, в районах угольных месторождений Западного Донбасса, Подмосковского угольного бассейна).

Выделенные выше типовые разрезы геологической среды в дальнейшем использованы для разработки новой геолого-промышленной группировки рудных месторождений для условий гумидной и аридной зон нашей страны.

Понятие о техногенных процессах

При рассмотрении научного содержания геологических аспектов охраны окружающей среды целесообразно принять еще одно понятие — техногенные процессы.

Выше отмечалось, что при осушении горных разработок на рудных месторождениях, эксплуатации крупных водозаборов и хвостохранилищ всегда происходит изменение свойств геологической среды под влиянием техногенных процессов. Изучить механизм формирования техногенных процессов, выявить их природу, оценить степень и направленность изменения свойств геологической среды и обосновать меры защиты — значит научиться создавать необходимые безопасные условия промышленного освоения рудных месторождений, а также обеспечить охрану окружающей среды обитания человека, т. е. решить главные задачи комплексных исследований на рудных месторождениях.

Эти очень важные научно-производственные задачи, по существу, определяют основные направления большого комплекса гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических исследований, которые приводятся на рудных месторождениях на всех стадиях их изучения.

В общем виде техногенные процессы представляют собой чаще всего совокупность тесно связанных между собой и часто взаимно обусловленных гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, биогеохимических процессов, формирующихся в геологической среде под влиянием инженерной деятельности человека вообще и, в частности, в области горнодобывающей промышленности.

При промышленном освоении рудных месторождений могут проявляться и специфические техногенные процессы чисто гидрогеологического или инженерно-геологического плана, которые также оказывают свое влияние на изменение свойств геологической среды.

К специфическим техногенным инженерно-геологическим процессам, например, можно отнести горные удары в подземных горных выработках, проявляющиеся при эксплуатации рудных месторождений, а также загрязнения рудничных вод химическими элементами и др.

По характеру воздействия на геологическую и нередко на окружающую среду в целом техногенные процессы целесообразно подразделить на позитивные и негативные. Важнейшим критерием формирования техногенных процессов является тепломассообмен между геологической средой и поверхностью земли в целом, на что в своих исследованиях обратил внимание академик В. И. Вернадский. Именно по этому критерию можно выделить три основных типа техногенных процессов [28].

Первый тип техногенных процессов по направленности тепломассообмена характеризуется изъятием вещества и тепла из геологической среды на поверхность (например, при осушении горных выработок на рудных месторождениях, а также при эксплуатации подземных вод системой крупных групповых водозаборов). Негативное влияние первого типа техногенных процессов на изменение свойств геологической среды проявляется в самых различных формах — просадках и провалах поверхности, деформациях поверхностных сооружений, истощении запасов подземных вод, нарушениях взаимосвязи подземных и поверхностных вод и др.

В горнодобывающей промышленности наиболее активно проявляются техногенные процессы первого типа, существенно оказывающие свое влияние не только на изменения свойств геологической среды, но и нередко на изменения экологического качества окружающей среды в целом.

Отличительной чертой процессов первого типа является то, что они охватывают большие площади и распространяются на значительные глубины.

Второй тип техногенных процессов формируется при эксплуатации обводнительных объектов, когда изменение свойств геологической среды происходит под влиянием теплоемас-сопереноса, направленного с поверхности в недра литосферы. В районах горнодобывающей промышленности такие процессы формируются, например, при эксплуатации хвостохранилищ и гидроотвалов, т. е. накопителей для жидких и твердых промстоков обогатительных фабрик. Негативное влияние техногенных процессов второго типа на изменения свойств геологической среды проявляется в виде площадного загрязнения неглубоко залегающих подземных и поверхностных вод за счет неизбежных потерь жидких промстоков со стороны хвостохранилищ.

Отличительной чертой второго типа техногенных процессов является то, что их влияние на изменения свойств геологической среды часто локализуется на небольшой площади со стороны нижнего бьефа хвостохранилища.

Третий тип процессов является по своей природе очень сложным; это взаимодействующие между собой процессы первого и второго типов, проявление которых четко фиксируется при одновременном осушении и обводнении объекта. Такие процессы могут формироваться, например, на городской территории горнорудного предприятия, располагающегося непосредственно на границах горных разработок. В таких условиях могут иметь место техногенные процессы, возникающие при осушении горных разработок, а также при обводнении городских территорий путем орошения земель, неизбежных потерь воды из централизованной водопроводной и канализационной сети.

Именно такие условия формирования техногенных процессов третьего типа могут формироваться, например, при эксплуатации рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам, где четко проявляется одновременно негативное влияние суффозионно-карстовых процессов (образования провальных воронок), а также подтопления отдельных городских жилых построек. Условия взаимодействия техногенных процессов третьего типа и их негативное воздействие на изменения свойств геологической среды изучены слабо.

Рассмотрим кратко характеристику условий формирования некоторых техногенных процессов и их влияние на изменение свойств геологической среды. Краткий перечень наиболее распространенных техногенных процессов, формирующихся на объектах при осушении горных разработок, и их воздействие на геологическую среду приведен ниже.

Осушение водовмещающих горных пород надрудной и рудовмещающей толщ

Коренное нарушение взаимосвязи подземных и поверхностных вод; истощение запасов подземных вод надрудных водоносных горизонтов; дренирование влаги в зоне депрессионной воронки — родников, колодцев, водозаборных скважин

Процессы вторичной консолидации осушенных рыхлых пород и вторичное депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород при снятии пластового давления в напорных водоносных горизонтах

Суффозионно-карстовые процессы при осушении водоносных карбонатных пород

Процессы сдвижения горных пород и зоны обрушения в зоне развития горных разработок

Гидрогеологические процессы на участках хвостохранилищ и отвалов пустых горных пород (гидроотвалов)

Процессы фильтрационной деформации горных пород по уступам карьеров (при недостаточной степени их осушения)

Фильтрационно-эрозионные процессы при осушении обводненных зон тектонических нарушений

Процессы пучения и текучести глинистых пород

Процессы окисления рудной минерализации

Процессы подтопления городских территорий предприятия

Взаимодействие осушительных сооружений предприятия с действующими водозаборами подземных вод, используемых для целей водоснабжения города

Наиболее существенные изменения свойств геологической среды и нередко окружающей среды в целом происходят при осушении горных разработок на площади формирования депрессионной воронки. Под влиянием глубокого и весьма длительного во времени осушения горных разработок на рудном месторождении

Проседание (деформация) поверхности и, как следствие этого, возможная деформация поверхностных сооружений и подземных коммуникаций; деформация стволов шахт и осушенных устройств; нарушение общего ландшафта и периодическое затопление просевшей поверхности земли

Образование на поверхности провальных карстовых воронок; деформация поверхности, поверхностных сооружений и подземной коммуникации; нарушение географического ландшафта на площади развития депрессионной воронки и формирование типичного карстового ландшафта

Формирование в горных породах техногенной трещиноватости и провальных воронок в зоне обрушения; формирование зоны дополнительного техногенного питания подземных вод и их влияние на обводнение горных работ

Загрязнение подземных и поверхностных вод

Деформация уступов и бортов карьеров, нередко приводящая к нарушению безопасных условий отработки месторождения

Деформация уступов и бортов карьеров или подземных горных выработок

Деформация подземных горных выработок

Химическое загрязнение рудничных вод (повышенное содержание некоторых компонентов по сравнению с ГОСТом и общей минерализацией)

Ослабление устойчивости гражданских и промышленных сооружений

Снижение общего дебита водозабора и нередко полное дренирование подземных вод продуктивного водоносного горизонта, что требует перебазирирования водозабора

происходит коренное изменение гидрогеологических, инженерно-геологических и ландшафтных условий. Под защитой осушения и крепления горных выработок создаются, с одной стороны, благоприятные и безопасные горнотехнические условия промышленной отработки рудных месторождений, а с другой стороны, происходит негативное изменение свойств геологической среды.

Аналогичные техногенные процессы формируются и при эксплуатации крупных водозаборных сооружений, так как направленность тепломассообмена в этих объектах одна и та же.

На водозаборных сооружениях нередко также формируются следующие техногенные процессы: а) физическая кольтматация подрусловых аллювиальных отложений в речных долинах на участках действующих береговых инфильтрационных водозаборов, что приводит к снижению их общей производительности; б) физико-химическая кольтматация фильтров и призабойной части водозаборных скважин, требующая часто их ремонта и др.

Как отмечалось ранее, при эксплуатации хвостохранилищ и гидроотвалов обычно формируются техногенные процессы химического загрязнения подземных и поверхностных вод за счет неизбежных инфильтрационных потерь неочищенных жидких стоков. Обычно по пути естественного движения подземных вод под влиянием техногенных процессов в водоносном горизонте формируется фронт инфильтрационного потока загрязнений.

Известно, что между гидрогеосферой, гидросферой и атмосферой нашей планеты постоянно действуют глобальные процессы взаимодействия — влагооборот. Под влиянием этих процессов газовые источники загрязнения металлургических заводов, попадая в атмосферу, мигрируют вместе с влагой в почву, а затем в подземные воды и в первую очередь в горизонты неглубоко залегающих грунтовых вод.

Опыт показывает, что некоторые формы химического загрязнения в подземных водах не окисляются, не разрушаются и слабо сорбируются в горных породах и поэтому могут мигрировать на большие расстояния от очага загрязнения (например, фенолы). Поэтому защита подземных вод от химических загрязнений всегда является сложной проблемой. В связи с этим очень важное значение имеют режимные наблюдения на всех очагах загрязнений, которые должны быть организованы на ранних стадиях формирования техногенных процессов.

Понятие о техногенезе

Как следует из вышеизложенного, во многих горнорудных провинциях Советского Союза влияние техногенных процессов на изменение свойств геологической среды и нередко на изменения экологии окружающей среды может иметь локальный, или площадной, характер и распространяться на большие глубины. Под влиянием этих изменений в верхней части геологического разреза

и на поверхности формируется техногенез горнодобывающего профиля [26].

Научное понятие «техногенез» было предложено в 1937 г. академиком А. Е. Ферсманом при изучении рудных месторождений. В соответствии с этим техногенез есть результат геохимической деятельности человека при эксплуатации рудных месторождений. Техногенез в горнодобывающей промышленности четко обуславливает формирование в геологической среде геохимических аномалий и геохимических ландшафтов техногенного происхождения. Таким образом, техногенез, по А. Е. Ферсману, играет большую роль в геохимии верхней части земной коры, нарушая естественный ход геохимических процессов.

По другим определениям техногенез трактуется в более узком смысле — как «совокупность геоморфологических процессов, вызванных производственной деятельностью человека». При этом влияние человека на естественное развитие геоморфологических процессов может быть прямым или косвенным.

На современном этапе высоких темпов развития горнодобывающей промышленности и интенсивного влияния деятельности человека на изменение свойств окружающей среды вполне правомерно принять более широкое и обобщающее понятие о техногенезе, в котором необходимо учитывать комплексное негативное влияние различных техногенных процессов. Именно такое воздействие и определяет формирование в геологической среде гидрогеологических, геохимических, инженерно-геологических и других аномалий.

С этих позиций техногенез целесообразно рассматривать как обобщающее понятие, которое представляет собой совокупное проявление в геологической и окружающей среде в целом геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических, биогеохимических и других техногенных процессов, возникающих при инженерной деятельности человека самого различного направления. В результате формирования техногенеза в верхней части земной коры и на поверхности происходит коренное нарушение природных и прежде всего гидрогеологических и инженерно-геологических условий. На площади инженерной деятельности человека формируется техногенный ландшафт.

Учитывая, что при эксплуатации различных типов месторождений полезных ископаемых в геологической среде может формироваться техногенез различного профиля, целесообразно выделить его разновидности при эксплуатации: а) рудных месторождений горнорудного профиля; б) горнохимического сырья горнохимического профиля; в) нефтяных и газовых месторождений газонефтяного профиля. Каждый выделенный профиль техногенеза имеет некоторые особенности по преобладанию и интенсивности проявления тех или иных техногенных процессов.

Так, особенность техногенеза горнорудного профиля состоит в комплексном его воздействии на изменения экологического ка-

чества окружающей среды, при этом преобладают и развиваются преимущественно техногенные процессы первого типа. Типичный в этом отношении техногенез формируется, например, на площади освоения железорудных месторождений КМА, Криворожского бассейна и др.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в районах интенсивного развития рудодобывающей промышленности, особенно при групповом промышленном освоении объектов, под влиянием техногенеза происходит существенное изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в целом. В верхней части разреза литосферы происходит закономерное формирование техногеосферы.

В связи с формированием в окружающей среде техногенеза различного профиля и с различными формами его воздействия на природные условия большое значение для горнодобывающей промышленности приобретает прогнозная оценка возможного развития при эксплуатации рудных объектов тех или иных техногенных процессов, особенно в стадии проведения предварительных гидрогеологических и инженерно-геологических работ (в предпроектную стадию разведки рудных месторождений). Ранняя стадия прогноза может позволить своевременно обосновать и осуществить меры защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенеза и тем самым создать более благоприятные условия для рационального использования природных ресурсов.

Теоретические основы формирования техногенеза в целом и составляющих его техногенных процессов в настоящее время разработаны очень слабо. В этом направлении предстоит выполнить специальные научные исследования. Слабо разработаны и научно-методические основы прогнозной оценки возможного развития техногенных процессов и гидрогеологических основ мер защиты окружающей среды от негативного влияния техногенеза. В настоящее время для прогнозной оценки развития и негативного влияния техногенных процессов первого и второго типов могут быть использованы известные гидродинамические и гидрогеомеханические методы. Для сравнительно простых гидрогеологических условий для этой цели могут быть применены типовые аналитические расчеты; для более сложных гидрогеологических обстановок отдельных объектов — методы математического моделирования на АВМ.

Первостепенное значение для эффективного прогнозирования последствий техногенеза имеет система целенаправленных натуральных наблюдений, надежно обеспечивающая необходимую для прогноза информацию. Некоторые методические приемы прогнозной оценки техногенных процессов рассмотрены в последующих главах.

Весьма существенные изменения геологической и окружающей среды в целом могут происходить и в стадию консервации отработанных рудных месторождений. Как известно, в эту стадию на объекте полностью демонтируется все насосное оборудование

и горные выработки затапливаются за счет продолжающегося притока рудничных вод. При этом происходит не просто затопление горных выработок, но и подъем уровня подземных вод в толще осушенных горных пород. Тепломассообмен в стадии мокрой консервации рудника на площади ранее сформировавшейся депрессионной воронки (за длительный срок осушения) уже направлен не сверху вниз, как при осушении, а снизу вверх, в направлении к поверхности земли. В результате возобновления естественных запасов происходит подъем уровня подземных вод, что и приводит на некоторых объектах к формированию техногенных процессов — подтоплению ранее построенных поверхностных сооружений и подземных коммуникаций на прилегающей площади городских территорий предприятия, а на других объектах может привести к ухудшению качества подземных вод на действующих водозаборных сооружениях, находящихся в стадии эксплуатации во взаимодействии с осушительными устройствами. Происходит увеличение общей минерализации и содержания сульфатов. Такое негативное влияние повторных техногенных процессов на окружающую среду было, например, выявлено при мокрой консервации Ключевского рудника на Урале и других объектах. Это лишний раз подтверждает необходимость продолжения комплексных исследований на предприятиях в стадию их мокрой консервации с целью предупреждения негативных последствий техногенеза.

Глава 6

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ГРУППИРОВКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Принципы построения геолого-промышленной группировки рудных месторождений

На различных стадиях изучения и освоения рудных месторождений очень важно определить задачи и основные направления гидрогеологических и инженерно-геологических исследований для решения задач в свете требований их разведки, строительства, эксплуатации, а также охраны и защиты окружающей среды. Главные цели и задачи исследований на различных стадиях изучения и освоения месторождений приводятся в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий рудных месторождений на различных стадиях их освоения представляет собой непрерывную цепь исследований. Главная задача в этой цепи заключается в применении принципа их преемственности и в первую очередь преемственности (продолжения) стационарного изучения режима подземных и поверхностных вод, а также техногенных процессов. Принцип преемственности в изучении рудных месторождений позволяет

ТАБЛИЦА 4

Цели и основные задачи комплексных (гидрогеологических и инженерно-геологических) исследований, которые целесообразно проводить на различных стадиях изучения и освоения рудных месторождений

Стадия	Целевое назначение	Основные задачи комплексных исследований
Разведка рудного месторождения (предварительная и детальная)	Обоснования: а) технико-экономического доклада (ТЭДа) промышленного освоения месторождения, водоснабжения будущего предприятия и охраны окружающей среды (для месторождений со сложными условиями); б) проектного задания (для месторождений с простыми природными условиями)	Изучить общие закономерности изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий рудного поля и участка горного строительства, представить исходную комплексную информацию для составления ТЭДа (проектного задания), дать прогноз водопритоков в горные выработки, рекомендации по схеме осушения и водоснабжению и рекомендации по защите окружающей среды
Проектирование и строительство объекта	Уточнение некоторых положений проектного задания и обоснование строительства горнорудного предприятия с учетом особенностей изучаемого объекта, а также проектирования мероприятия по охране и защите окружающей среды в связи с прогнозной оценкой возможного негативного влияния техногенеза	Детальное гидрогеологическое и инженерно-геологическое изучение объекта в условиях конкретного проектирования основных объектов будущего предприятия; авторский надзор за горным строительством и мероприятиями по защите геологической и окружающей среды
Промышленная эксплуатация рудного месторождения	Обоснование безопасных гидрогеологических и инженерно-геологических условий промышленной отработки рудного месторождения, использование рудничных вод для различных целей и защита окружающей среды от негативного влияния техногенеза	Детальные стационарные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования режима подземных вод и техногенных процессов в условиях длительной эксплуатации основных объектов предприятия (горного цеха, отвального хозяйства, водозабора, хвостохранилища, городской территории, а также защитных сооружений по охране окружающей среды
Консервация горного предприятия (карьера, рудника)	Охрана и защита окружающей среды	Стационарное изучение режима подземных вод и техногенных процессов и принятие в случае необходимости дополнительных мер по защите окружающей среды в соответствии с требованиями Госгортехнадзора СССР

получить качественную и достоверную первичную информацию, необходимую для оценки промышленной обработки объектов.

Важным методическим приемом является комплексное изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий рудных месторождений на базе единой программы с одновременным проведением всех видов исследований на всех стадиях освоения объектов. Только в этом случае может быть достаточно обоснованно дан прогноз возможного влияния осушения горных разработок на развитие техногенных процессов на объекте, а также обоснованно разработаны мероприятия по безопасным условиям промышленной обработки месторождений и охране окружающей среды.

Из данных табл. 4 также следует, что очень важно на всех стадиях изучения, эксплуатации и консервации рудных месторождений правильно определить направление, методику, цели и задачи комплексных исследований, а также осмыслить степень сложности объекта и схему его промышленного освоения.

В связи с этим целесообразно для практического руководства большим комплексом исследований систематизировать все разнообразие природных условий рудных месторождений в виде их классификации или геолого-промышленной группировки. Ранее такие группировки были предложены Г. Н. Каменским, С. В. Троянским, Д. И. Щеголевым, С. П. Прохоровым, Н. И. Плотниковым и др. Однако все они по своему содержанию устарели.

В свете современных требований горнодобывающей промышленности и новых задач в области охраны и защиты окружающей среды в табл. 5 приводится в обобщенном виде новая геолого-промышленная группировка рудных месторождений СССР вне зоны формирования вечной мерзлоты. В основу новой геолого-промышленной группировки положены следующие главные факторы, определяющие степень сложности промышленной обработки рудных месторождений.

1. Степень сложности геологической среды, характеризующая сложность гидрогеологических и инженерно-геологических условий рудных объектов. Выше были приведены четыре типа геологической среды: рассмотрены строение и свойства геологической среды, дана краткая характеристика отдельных ее компонентов (горных пород, подземных вод, природных газов и микроорганизмов). Строение и свойства геологической среды играют существенную роль в общей оценке степени сложности горного строительства на рудных месторождениях, а также выбора рациональной схемы размещения других объектов предприятия.

По существу, свойства геологической среды определяют: а) условия проходки горных выработок (обычным или спецспособом), физико-механические и водные свойства горных пород и степень их устойчивости в выработках (требуется или нет крепление горных выработок, дополнительное предварительное осушение уступов карьера и др.); б) степень обводненности месторождения и прежде всего общие возможные водопритоки в систему

ТАБЛИЦА 5

Геолого-промышленная группировка рудных месторождений по степени сложности

I группа	Степень сложности геологической среды	Источники обводнения; средние прогнозные значения общих водопритоков (в м ³ /ч)
I	Простое строение (первая модель геологической среды)	Преимущественно подземные воды (трещинно-грунтовые и трещинно-жильные), реже поверхностные воды местной гидрографической сети; 50—100, реже до 300
II	Сложное строение (вторая модель геологической среды)	Подземные (грунтовые, трещинно-грунтовые, трещинно-жильные) и поверхностные воды местной гидрографической сети; 200—300, реже до 800—1200
III	Очень сложное строение (третья модель геологической среды)	Трещинно-карстовые подземные воды и поверхностные воды местной речной сети; 8000—12 000, реже до 25 000—32 000
IV	Весьма сложное строение (четвертая модель геологической среды)	Преимущественно подземные воды сложного водоносного комплекса; 2000—5000

Условия промышленного освоения	Степень сложности техногенеза	Примеры из практики
<p>Простые (требуется применение обычных способов проходки горных выработок, осушение объекта можно осуществить с помощью внутришахтного или внутрикарьерного водоотлива, реже требуется отвод речных вод)</p>	<p>Слабое проявление техногенеза на небольшой площади (до 1,5—2 км²); специальных мер защиты окружающей среды не требуется (за исключением очистки рудничных вод)</p>	<p>Некоторые рудные месторождения Урала, Центрального Казахстана, Средней Азии и др.</p>
<p>Сложные (требуется применение, кроме обычных схем осушения, отвод речных вод, а также устройство внешних или опережающих подземных схем осушения горных разработок)</p>	<p>Техногенез формируется на небольшой площади (до 2—3, реже 5 км²); требуется очистка рудничных вод при их использовании для целей водоснабжения или орошения</p>	<p>Рудные месторождения Урала и Казахстана</p>
<p>Очень сложные (требуется, кроме обычных схем осушения и проходки горных выработок, применение специальных способов проходки и специальных схем осушения, в том числе схем: осушение—водоснабжение, откачка—закачка, опережающего осушения горных разработок с помощью внешних и внутришахтных способов, а также отвод или изоляция речных вод)</p>	<p>Техногенез формируется на значительной площади (от нескольких сот до нескольких тысяч квадратных километров); требуется защита окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов, очистка рудничных вод и их использование для целей водоснабжения и орошения</p>	<p>Рудные месторождения Урала, Казахстана и др.</p>
<p>Весьма сложные (требуется опережающее предварительное и эксплуатационное осушение с помощью применения рационального сочетания обычных, специальных и индивидуальных схем, в том числе схемы осушение—водоснабжение, а также спецспособов проходки подготовительных горных выработок)</p>	<p>Техногенез формируется на большой площади (до нескольких сот квадратных километров); требуется применение специальных способов защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов, а также использование рудничных вод для целей водоснабжения или орошения</p>	<p>Железорудные месторождения КМА и др.</p>

горных работ и источники их формирования, целевое использование рудничных вод, а также степень их агрессивности; в) возможную газоносность рудных объектов (природные или техногенные газы, их примерный состав и необходимость принятия защитных мер).

2. Степень сложности формирования техногенеза в стадию эксплуатации рудных месторождений. В соответствии с содержанием этого фактора необходимы: а) оценка техногенных процессов и их негативное влияние на изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды при осушении горных разработок, эксплуатации водозаборных сооружений и хвостохранилищ, на площади городских территорий; б) оценка сложности необходимой защиты окружающей среды обитания и производственной деятельности человека от негативного влияния техногенеза.

3. Степень сложности промышленного освоения рудных месторождений. Этот факт определяет: а) необходимость применения на месторождении обычных, специальных или индивидуальных способов осушения горных разработок; б) выбор наиболее рациональных схем осушения с учетом использования рудничных вод для целей водоснабжения или орошения, а также требования по охране окружающей среды; в) гидрогеологические и инженерно-геологические условия рационального размещения на предприятии других объектов (отвального хозяйства и гидроотвалы пустых пород обогатительной фабрики и хвостохранилища, водозаборные сооружения, городские территории, зоны отдыха и др.).

С учетом охарактеризованных выше факторов в пределах гумидной и аридной зон Советского Союза в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении целесообразно выделить четыре группы рудных месторождений (см. табл. 5). Такая геолого-промышленная группировка позволяет использовать ее для практических целей: выбора в предварительном виде основных направлений комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, основных видов работ и их содержания применительно к различным стадиям изучения и освоения рудных месторождений; для осуществления прогнозной оценки возможного развития техногенных процессов при эксплуатации объектов и техногенеза в целом; определения мер защиты окружающей среды.

Важно, однако, при этом правильно оценить природные условия изучаемого объекта и найти его место в геолого-промышленной группировке.

При рассмотрении природных условий рудных месторождений различных рудных провинций СССР нетрудно заметить, что в каждой группе рассмотренной классификации по признаку некоторых особенностей можно выделить подгруппы. Например, в третьей группе среди рудных месторождений, приуроченных к карбонатным породам, можно выделить подгруппу месторождений, на площади которых практически отсутствуют поверхност-

ные воды. К таким объектам могут быть отнесены, например, Жайремское и Хайдарканское рудные месторождения. Однако такая детализация геолого-промышленной группировки не может внести принципиальных изменений: несколько снижается при этом только степень сложности промышленной отработки месторождения и изменяется в связи с этим набор схем защиты горных разработок от обводнения.

Что же касается рудных месторождений, расположенных в области распространения многолетнемерзлых пород, то природные условия этих объектов имеют существенные особенности и отличия, которые и должны учитываться в самостоятельной геолого-промышленной группировке. Мерзлотные условия рудных месторождений, как показывает практика, имеют существенное влияние на промышленное их освоение. С этой точки зрения исследования по изучению мерзлотно-гидрогеологических условий рудных месторождений целесообразно выполнять по специальным программам.

Характеристика выделенных групп месторождений и состав комплексных исследований

Рассмотрим характеристику выделенных групп рудных месторождений, а также основные виды и содержание комплексных исследований применительно к различным стадиям их изучения и промышленного освоения.

Первая группа, как это следует из данных табл. 5, по существу, характеризуется сравнительно простыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями промышленной отработки месторождений и простыми мероприятиями по защите окружающей среды.

Геологическая среда на объектах представлена преимущественно устойчивыми (хотя и трещиноватыми) горными породами (интрузивные породы, метаморфические кварциты, песчаники, конгломераты и т. д.), пресными подземными водами (трещинно-грунтовые и трещинно-жилые) и слабым проникновением в горные выработки химически неактивных газов главным образом воздушного происхождения (азот и т. д.), реже могут быть газы глубинного происхождения (углекислый газ); микроорганизмы могут слабо развиваться и существенно не влиять на изменения свойств остальных компонентов геологической среды. Горные породы, слагающие месторождения, при обводнении практически не изменяют своих физико-механических свойств.

Незначительные водопритоки в горные выработки позволяют обеспечить безопасные условия промышленной отработки объектов под защитой обычных средств за счет внутрикарьерного или внутришахтного водоотлива. В бортах карьеров и в подземных выработках породы устойчивы и не требуют крепления или дополнительных мероприятий. Никаких специальных способов про-

ходки горных выработок и мероприятий по предварительному осушению горных разработок при эксплуатации объекта первой группы обычно не требуется.

Техногенные процессы в период эксплуатации рудных месторождений этой группы развиваются слабо, депрессионная воронка формируется на площади 1,5—2 км² — предельная площадь развития техногенных процессов; слабо проявляется дренирующее влияние водоотлива на окружающую среду. Из техногенных процессов могут развиваться: процессы дренирования влаги в сфере осушения горных разработок, возможное загрязнение рудничных вод. Негативное влияние техногенных процессов дренирования на изменение экологического качества окружающей среды обычно незначительное и не требует применения специальных защитных мер. В этом и состоит принципиальное отличие первой группы месторождений от остальных выделенных групп.

Несколько усложняются условия промышленной отработки рудных месторождений, если возникает необходимость принимать меры защиты горных разработок от поверхностных и грунтовых вод аллювиальных образований — местной гидрографической сети, расходы которой обычно незначительны. Эти мероприятия на практике осуществляются путем изоляции поверхностных вод (строительство железобетонных лотков и осушение горизонта грунтовых вод) либо путем отвода поверхностного стока за пределы дренирующего влияния горных разработок.

Простые условия промышленной отработки рудных месторождений первой группы определяют основные направления и основные виды комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в стадии разведки, эксплуатации и консервации объектов.

Ниже приводится краткий перечень, целевое назначение и содержание основных видов комплексных исследований, рекомендуемых для изучения рудных месторождений первой группы.

В стадию предварительной и детальной разведки месторождений должна быть проведена крупномасштабная комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка непосредственно на площади рудного поля, а также на площади размещения всех остальных объектов будущего горнорудного предприятия. При этом максимально должна быть использована гидрогеологическая и инженерно-геологическая информация по всем видам собственно геологоразведочных работ. Комплексная съемка должна проводиться на готовой геологической основе. В процессе проведения съемочных работ необходимо выполнить (в случае необходимости главным образом при плохой обнаженности коренных пород) в весьма небольшом объеме бурение специальных гидрогеологических скважин, а также геофизические наземные и каротажные работы; опытно-фильтрационные работы целесообразно проводить с помощью пробных откачек из одиночных буровых геологоразведочных и гидрогеологических скважин с целью изучения фильтрационных

свойств водовмещающих пород; должно проводиться качественное опробование подземных и поверхностных вод.

Важным разделом являются собственно инженерно-геологические исследования — изучение физико-механических свойств горных пород и их трещиноватости. Специальные гидрогеологические исследования должны быть проведены по поискам и разведке возможных источников водоснабжения будущего предприятия, по категориям, позволяющим вести проектирование и строительство водозаборного сооружения (в объеме требований действующей Инструкции ГКЗ СССР).

Полевые работы должны быть завершены организацией на объекте специальной опорной наблюдательной сети с целью стационарного изучения в дальнейшем режиме подземных и поверхностных вод на участках горного строительства, а также будущего водозабора.

В результате выполнения комплексных полевых работ должна быть получена исчерпывающая гидрогеологическая и инженерно-геологическая информация для прогнозной оценки промышленной отработки месторождения, возможного развития техногенных процессов, разработки рекомендаций по охране окружающей среды, а также данные по оценке возможных источников водоснабжения горнорудного предприятия.

Перечисленные выше комплексные исследования определяют необходимость проведения их на объекте по единой программе и одновременно с проектом геологоразведочных работ в тесном контакте с геологической службой геологоразведочной организации.

В стадию проектирования и строительства горнорудного предприятия может возникнуть необходимость проведения в небольшом объеме дополнительных комплексных исследований применительно к требованиям конкретного размещения всех проектируемых на месторождении объектов. В составе этих исследований может быть предусмотрено бурение разведочных скважин гидрогеологического и инженерно-геологического назначения (с последующим их комплексным опробованием) на участках проектирования шахтных стволов, размещения отвалов пустых пород, хвостохранилищ и городской территории предприятия. Эти комплексные исследования обычно проводятся силами проектных организаций.

В процессе строительства горнорудного предприятия крайне необходимо обеспечить гидрогеологическую и инженерно-геологическую документацию горнопроходческих и горно-подготовительных работ, осуществить авторский надзор за строительством, а также продолжить комплекс наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод и техногенными процессами, начатыми в стадию разведки месторождения.

В стадию эксплуатации объектов первой группы главная задача комплексных исследований состоит в длительном стационарном комплексном изучении режима подземных и поверх-

ностных вод на всех объектах предприятия (горном цехе, хвостохранилище, водозаборе и на городской территории), а также стационарном изучении техногенных процессов с целью обоснования (в случае необходимости) дополнительных мер защиты окружающей среды от их негативного влияния.

В эту стадию на объекте обычно проводится следующий комплекс исследований:

а) постоянная гидрогеологическая документация всех видов горнопроходческих работ (проводится параллельно с геологической документацией);

б) систематическое качественное опробование рудничных (шахтных) вод (определение химического и санитарно-бактериологического их состава);

в) стационарное изучение режима уровня подземных вод в наблюдательных скважинах, водопритоков в горные выработки (по горизонтам общих водопритоков в целом), изучение условий возможного загрязнения подземных вод на участках хвостохранилищ и режима подземных вод на водозаборах; для выполнения комплекса работ по изучению режима подземных и поверхностных вод на предприятии должна быть создана опорная и вспомогательная сеть наблюдательных пунктов (см. гл. 7);

г) контрольная оценка условий сброса рудничных вод с целью охраны окружающей среды;

д) рекогносцировочные обследования (периодически) территории города действующего предприятия и всей территории в целом с целью контроля за охраной и защитой окружающей среды.

Весь комплекс исследований завершается периодическим (лучше ежегодным) проведением камеральной обработки материалов и составлением ежегодных отчетов, в которых излагаются в систематизированном виде результаты исследований и рекомендации по дальнейшему улучшению безопасных условий отработки месторождения, дополнительным мерам защиты окружающей среды, а также дается прогнозная оценка возможных водопритоков на проектируемые к отработке более глубокие горизонты.

Кроме оперативной (ежегодной) камеральной обработки гидрологических и инженерно-геологических материалов, целесообразно проводить на предприятии систематизацию и обобщение материалов по многолетнему опыту эксплуатации основных его объектов с целью сравнительной оценки прогнозных и физических данных. Результаты таких исследований позволят в дальнейшем совершенствовать методику комплексного изучения объекта.

В стадии консервации горнорудного объекта исследования целесообразно продолжать главным образом с целью охраны и защиты окружающей среды и предотвращения возможных аварийных ситуаций, которые могут возникнуть под влиянием развивающихся во время консервации техногенных процессов.

Вторая группа месторождений, как это видно из данных табл. 5, характеризуется сложными природными гидро-

геологическими и инженерно-геологическими условиями месторождений, сложными условиями промышленной их обработки и защиты окружающей среды. Эти условия отражает второй тип геологической среды. Отличительная особенность этой группы месторождений от первой состоит в том, что при эксплуатации объектов приходится применять, кроме обычных, специальные способы проходки горных выработок, опережающее и эксплуатационное осушение горных разработок и другие специальные защитные меры безопасности промышленной обработки месторождения.

Геологическая среда для второй группы рудных месторождений характеризуется сложными условиями; в разрезе рудного поля принимают участие слабоустойчивые в горных выработках породы — коренные полускальные породы (часто сложнослоистые), пораженные трещиноватостью, тектоническими нарушениями; рыхлые образования большой мощности залегают в форме покрова и являются, как правило, водоносными. Некоторые разности метаморфических пород обладают свойством скрытой текучести, что усложняет проходку горных выработок. Все это вместе взятое вызывает необходимость применять почти на всем протяжении подземных горных выработок сплошное крепление, а при карьерной обработке — специальные способы опережающего осушения бортов с целью обеспечения их устойчивости.

На месторождении широко распространены подземные воды: а) грунтовые — рыхлых покровных образований; б) трещинно-грунтовые — зоны выветривания коренных пород; в) трещинно-жилые — зон тектонических нарушений.

Очень часто на площади рудного поля распространены современные речные долины второго и третьего порядков, нередко имеющие постояннодействующие водотоки.

При осушении горных разработок происходит коренное изменение условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод, при осушении горные выработки играют роль искусственных дрен. Именно поэтому и возникает необходимость изоляции или отвода речных поверхностных вод, как основного источника обводнения месторождения, за пределы зоны дренирующего влияния горных пород.

При эксплуатации объектов под влиянием техногенных процессов окисления рудничные воды на медных месторождениях могут изменять свой химический состав. Наиболее интенсивно воздействует на химический состав подземных вод сульфидная минерализация. При этом часто рН воды достигает низких значений — 2—3; рудничные воды приобретают интенсивную агрессивность по отношению к горным породам, железобетону и металлическим конструкциям. Происходит увеличение общей минерализации рудничных вод в 2—3 раза.

В горных выработках могут быть распространены инертные и химические активные газы атмосферного и глубинного происхождения (углекислый газ).

Влияние микроорганизмов на изменение свойств геологической среды при будущей эксплуатации объекта изучено очень слабо.

Сложность геологической среды и определяет необходимость применения на месторождениях второй группы рационального сочетания обычных и специальных способов опережающего и эксплуатационного осушения, с тем чтобы обеспечить безопасные гидрогеологические и инженерно-геологические условия эксплуатации объекта, а также принять меры по защите окружающей среды.

При открытой разработке месторождений обычно применяется шагающая система опережающего осушения карьера с помощью подземных дренажных горных выработок, пройденных под карьером в сочетании со сквозными фильтрами-скважинами, заложенными с поверхности. Такая система дренажных выработок вполне обеспечивает высокую эффективность опережающего осушения карьера и защиту его от подземных вод. Водопритоки в шахтные стволы нередко превышают допустимую норму для обычных способов их проходки — более 25—35 м³/ч. Поэтому стволы шахт проходятся специальным способом.

В практике освоения некоторых объектов опережающее и эксплуатационное осушения достигаются с помощью комбинированной схемы — линейных рядов внешних дренажных скважин, пройденных с поверхности, с целью осушения водоносных рыхлых пород (при большой их мощности), а также внутришахтного водоотлива.

Для объектов, на обводнение которых влияют поверхностные воды, требуется дополнительная защита горных разработок от речных вод с помощью отвода либо изоляции речного стока. Такие мероприятия осуществлены на многих рудных месторождениях.

При осушении рудных месторождений второй группы часто проявляется целый комплекс техногенных процессов, оказывающих свое негативное влияние на изменение свойств геологической и окружающей среды в целом: а) нарушение общих ландшафтных условий на участке горного строительства и прилегающих территорий; б) фильтрационная деформация бортов карьера при недостаточном их осушении; в) фильтрационно-суффозионные процессы в обводненных зонах тектонических нарушений; г) проявление свойств скрытой текучести и переувлажненных глинистых рудовмещающих пород; д) дренирование пресных подземных вод четвертичных отложений, обычно используемых для целей децентрализованного водоснабжения прилегающих населенных пунктов; е) гидрогеохимические процессы окисления и загрязнения рудничных вод и др.

Большой комплекс техногенных процессов определяет меры защиты окружающей среды от их негативного воздействия: необходимость проведения рекультивации земель; организация централизованного водоснабжения прилегающих населенных пунктов,

затронутых дренирующим влиянием осушительных устройств; использование рудничных вод для производственного водоснабжения и др.

На различных стадиях изучения, освоения и консервации объектов второй группы должны проводиться в необходимом объеме комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования.

В стадию разведки месторождений второй группы целесообразно проводить следующие виды работ:

1) весь комплекс исследований, который был перечислен для первой группы месторождений;

2) бурение специальных гидрогеологических и инженерно-геологических скважин, которые в совокупности с геологоразведочными выработками служат основой для составления специализированных карт изучаемого объекта;

3) опытно-фильтрационные работы — пробные и опытные откачки из скважин с целью изучения гидрогеологических параметров водоносных горизонтов, в том числе проведение кустовых откачек;

4) комплекс геофизических и гидрогеохимических исследований (наземные и каротажные исследования);

5) исследования с целью прогнозной оценки техногенных процессов, определения их негативного влияния и разработки рекомендаций по охране и защите окружающей среды;

6) изучение опыта эксплуатации близко расположенных действующих горнорудных предприятий для сравнительной оценки гидрогеологических условий и использования опыта эксплуатации и защиты окружающей среды на изучаемом объекте.

По результатам проведенных гидрогеологических исследований в стадию разведки месторождений очень важно установить основные источники обводнения объекта, разработать рекомендации по схеме осушения будущих горных разработок и по защите окружающей среды. Эти рекомендации должны войти в проект промышленной отработки месторождения.

Как видно из краткого перечня основных видов работ, комплексные исследования в стадию разведки второй группы объектов приобретают самостоятельный характер и могут быть выполнены специализированными гидрогеологической и инженерно-геологической партиями, входящими в состав геологоразведочных экспедиций. Правильная организация работ в связи с этим имеет решающее значение [18].

В стадию проектирования и строительства горнорудного предприятия комплексные исследования на месторождении должны быть продолжены и носить более детальный характер применительно к требованиям конкретного проектирования отдельных объектов — шахтного или карьерного строительства и на участках размещения других объектов предприятия. В стадию строительства важной задачей является осуществление авторского надзора за строгим соблюдением всех проектных про-

работок по осушительным устройствам, а также должна быть выполнена детальная гидрогеологическая документация всех видов горно-подготовительных работ.

Большое значение для второй группы приобретают комплексные исследования в стадию эксплуатации рудного месторождения в области обеспечения безопасных условий промышленного освоения объекта и защиты окружающей среды. В этом отношении главными направлениями комплексных исследований, кроме отмеченных выше, для первой группы месторождений являются:

1) систематический плановый надзор за состоянием работ всех типов дренажных устройств и оценка гидрогеологической и инженерно-геологической эффективности дренажных сооружений, а также принятие дополнительных мер защиты горных работ от основных источников их обводнения;

2) изучение условий формирования техногенных процессов, их негативного воздействия на изменение окружающей среды и разработка дополнительных мероприятий по ее защите;

3) сравнительный анализ прогнозной оценки промышленной отработки месторождения по данным его разведки с данными опыта эксплуатации.

В стадию эксплуатации месторождений второй группы целесообразно проводить следующие основные виды гидрогеологических работ.

1. Стационарное комплексное изучение режима подземных вод (уровня, водопритоков, химического состава, температуры подземных вод) непосредственно в подземных горных выработках (в карьерах), а также на поверхности в буровых скважинах, специально оборудованных для этой цели.

Такие исследования проводятся с целью: а) изучения площади распространения депрессионной воронки и, следовательно, оценки степени влияния осушения объекта на изменение экологического качества окружающей среды и формирование техногенных процессов; б) оценки остаточного (законсервированного) гидростатического напора подземных вод по всем основным горизонтам горных разработок, принятия дополнительных мер по дренажу подземных вод, осушению горизонта и создания безопасных условий дальнейшей промышленной отработки месторождения в целом; в) разработки дополнительных оперативных мер по защите окружающей среды; г) прогнозной оценки водопритоков на более глубокие горизонты, намечаемые к отработке месторождения, которая может быть выполнена гидравлическим методом, гидродинамическими расчетами или методом моделирования на ЭВМ. Важно также изучить гидрогеохимические и санитарные условия загрязнения рудничных вод, условия сброса на поверхность и рекомендации по их использованию.

2. Стационарное изучение техногенных процессов, проявляющихся в процессе промышленной отработки месторождения.

3. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая документация всех горных работ и составление планов обводнения отдельных горизонтов, а также системы горных разработок в целом.

4. Стационарное комплексное изучение режима подземных вод на действующих водозаборных сооружениях.

5. Периодическое рекогносцировочное обследование всей территории горнодобывающего предприятия с целью контрольной оценки эффективности мероприятий по охране окружающей среды.

Не менее важное значение приобретают комплексные исследования в стадию консервации объектов второй группы. Практика показывает, что отсутствие самого элементарного гидрогеологического и инженерно-геологического надзора в период консервации объектов приводит к очень серьезным последствиям и наносит большой ущерб народному хозяйству. Главная задача этих исследований состоит в строгом соблюдении горного надзора за консервацией объекта и защите окружающей среды.

Для планомерного, систематического и оперативного обслуживания действующего горнорудного предприятия, отнесенного ко второй группе сложности, необходимым является организация на объектах специальной гидрогеологической службы, которая должна входить в состав геолого-маркшейдерской службы предприятия. Накопленный в этом отношении опыт показывает, что такая организационная форма гидрогеологического обслуживания предприятия вполне себя оправдывает и позволяет оперативно на высоком уровне решать все гидрогеологические задачи на предприятиях.

Третья группа (см. табл. 5) объединяет месторождения, в геологическом строении которых принимают участие преимущественно интенсивно обводненные карбонатные породы. Условия эти в общем виде охарактеризованы при описании третьей модели геологической среды.

Сложности промышленного освоения объектов этой группы прежде всего состоят в высокой степени обводненности рудовмещающих пород со значительными общими водопритоками в систему подземных горных выработок, достигающие до 18—22 тыс. м³/ч. Такие гидрогеологические условия при промышленной отработке месторождения требуют применения специальных и оригинальных мер защиты горных разработок от обводнения. При этом возникают большие сложности и по охране окружающей среды в связи с дренирующим влиянием осушительных устройств на большую площадь.

Горные породы в этой группе представлены известняками, мраморами и доломитами, хорошо устойчивыми в горных породах. Поэтому, как правило, при проходке подземных выработок не требуется крепление. Как отмечалось ранее, карбонатные породы обладают специфическими структурными элементами; в них четко прослеживается сочетание трещиноватости и закарстованности,

что придает им повышенную степень водообильности по сравнению со всеми другими литологическими разностями коренных рудовмещающих горных пород. Именно поэтому они обладают хорошими коллекторскими свойствами. Наряду с этим в карбонатных породах прослеживается очень высокая степень фильтрационной неоднородности как в плане, так и в разрезе. Это обстоятельство очень затрудняет, а в некоторых случаях исключает применение гидродинамических методов расчета по оценке прогнозных водопритоков в горные выработки и требует применения для этих схем метода моделирования на ЭВМ. К этой группе можно отнести рудные месторождения, приуроченные к карбонатным породам.

На месторождениях третьей группы распространены преимущественно два типа подземных вод: а) грунтовые воды покровных рыхлых образований; б) трещинно-карстовые воды карбонатных рудовмещающих пород.

Для некоторых рудных месторождений, имеющих гидрографическую сеть, трещинно-карстовые воды имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами. Поверхностные воды в этих условиях являются главным источником обводнения горных выработок. При их осушении происходит коренное изменение режима взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Горные выработки в условиях эксплуатации объекта играют роль искусственных дрен. Химический состав подземных вод на месторождениях описываемой группы очень пестрый и изменяется от пресных до минерализованных — 15—30 г/л (на некоторых месторождениях встречаются крепкие рассолы — до 170—190 г/л).

Газы на месторождениях третьей группы воздушного, биогенного и глубинного происхождения (углекислый газ, сероводород, метан и др.) оказывают свое агрессивное влияние на металл и железобетон; в связи с этим при осушении горных разработок нередко требуется применение антикоррозионного оборудования.

Микроорганизмы в геологической среде не изучены.

При осушении месторождений наиболее интенсивно проявляются суффозионно-карстовые техногенные процессы, существенно влияющие на изменение ландшафтных условий и нередко изменение свойств окружающей среды в целом. Развиваются также фильтрационно-суффозионные процессы, проявляющиеся в горных выработках при проходке обводненных зон дробления в тектонических нарушениях и при их осушении с помощью водопонижительных скважин. Процессы эти нередко приводят к деформации крепления в горных выработках, а также к деформации поверхности земли, образуя вокруг скважин воронки проседания.

Описываемая группа месторождений, как отмечалось, характеризуется высокой степенью водообильности. Для месторождений, на площади которых практически отсутствуют поверхностные воды, суммарные водопритоки в систему горных работ могут достигать 3—5 тыс. м³/ч, а для условий, когда на месторождении действует речная сеть с постоянным или переменным стоком, —

18—22 тыс. м³/ч. Такая высокая степень водообильности вызывает необходимость применять для защиты горных работ от подземных и поверхностных вод целый комплекс специальных и оригинальных мероприятий: а) устройство водонепроницаемых перемычек в подземных выработках вблизи шахтных стволов перед фронтом горно-подготовительных работ, которые планируется проходить в интенсивно обводненной зоне карбонатных пород; б) устройство на поверхности на флангах депрессионной воронки внешних мощных дренажных узлов для перехвата части фильтрационных потоков до их поступления в систему горных работ; в) специальные способы проходки шахтных стволов (под защитой водопонижения или цементации); г) изоляция в бетонные лотки поверхностных вод и сброс рудничных вод в пределах зоны влияния горных разработок; д) устройство восстающих дренажных скважин в подземных горных выработках для снятия остаточных (законсервированных) гидростатических напоров трещинно-карстовых вод; е) бурение многозабойных водопонизительных скважин; ж) применение оригинальных схем: осушение—водоснабжение, осушение—орошение и откачка—закачка.

Необходимо также принимать мероприятия и по защите окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов — суффозионно-карстовых и др.

Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования для месторождений третьей группы ввиду их высокой степени сложности приобретают большое самостоятельное значение в общем комплексе геологоразведочных работ на всех стадиях их изучения и освоения. Практика работ в стадию разведки и эксплуатации объектов третьей группы показывает, что задачи, стоящие перед комплексными исследованиями, успешно могут быть разрешены при условии организации самостоятельной гидрогеологической службы, оснащенной необходимой техникой и аппаратурой.

В стадию разведки должен проводиться весь комплекс исследований, как и для месторождений первой и второй групп. При этом особое внимание должно быть уделено изучению трещиноватости и закарстованности, а также фильтрационной неоднородности карбонатных пород, характеру распространения в них скрытых карстовых полостей, перекрытых покровными образованиями, с которыми при осушении горных разработок связано формирование суффозионно-карстовых техногенных процессов, а также изучению процессов коренного нарушения взаимосвязи трещинно-карстовых и поверхностных вод, суффозионно-фильтрационных процессов деформации при осушении обводненных зон тектонических нарушений и т. д.

При разведке месторождений третьей группы большое значение приобретают гидрогеологические исследования, связанные с прогнозной оценкой общих водопритоков в горные выработки и максимального использования ресурсов трещинно-карстовых вод, которые будут извлекаться из недр в процессе эксплуатационного осушения будущих горных разработок.

Опыт показывает, что при рациональных схемах осушений объекта рудничные воды могут быть успешно использованы для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, а также для мероприятий по защите окружающей среды — орошения земель. При этом должны быть учтены требования к обоснованию схемы «осушение—водоснабжение», которые изложены в гл. 11. В стадию разведки месторождений, таким образом, должны быть разработаны обоснованные рекомендации по выбору для каждого конкретного объекта рациональной схемы осушения будущих горных разработок и максимальному использованию рудничных вод.

Когда в рудовмещающих породах изучаемого объекта формируются подземные воды высокой минерализации, возникает необходимость проведения специальных исследований с целью предварительного решения вопроса об охране окружающей среды в связи с откачкой рудничных вод и их сброса в процессе будущей эксплуатации месторождения. Для условий аридной зоны сброс минерализованных рудничных вод можно осуществить в систему прудов-испарителей. В этом случае задача специальных исследований состоит в выборе и гидрогеологическом обосновании участков для строительства прудов-испарителей.

В других зонах целесообразно изучить в стадию разведки геолого-гидрогеологические условия месторождения с целью обоснования возможного применения осушения будущего объекта по схеме откачка—закачка. В этом направлении необходимо проводить натурные исследования: бурение специальных гидрогеологических скважин, проведение геофизических наземных и коротажных исследований, а также опытно-фильтрационные работы, по результатам которых затем выполнить разведочное моделирование на ЭВМ — схема осушения откачка—закачка в режиме, близком к условиям будущей эксплуатации.

В стадию проектирования и горного строительства на месторождениях третьей группы должны быть проведены специальные более детальные комплексные исследования применительно к требованиям конкретного проектирования всех основных объектов будущего предприятия. В эту стадию на участках горного строительства необходимо проводить бурение разведочных скважин по стволам проектируемых шахт с целью выбора спецспособов их проходки, а также по контуру проектируемой схемы внешних осушительных устройств (для будущего карьера) с целью уточнения конкретных гидрогеологических условий осушения, в том числе оценки фильтрационной неоднородности карбонатных пород в плане и разрезе и ее влияние для принятия наиболее рациональных проектных решений.

На месторождениях, где распространены минерализованные подземные воды и тем более рассолы, в случае необходимости должны быть продолжены гидрогеологические исследования по принятой для объекта схеме осушение—захоронение в объеме опытно-фильтрационного ее испытания. Эти исследования, как

отмечалось, четко определяются требованиями по охране окружающей среды.

Учитывая сложность таких исследований и их трудоемкость, рекомендуется составление специального проекта, в котором должны быть разработаны методика и технологическая схема опытно-промышленного испытания схемы с учетом гидрогеологических особенностей изучаемого объекта.

Возникает необходимость проведения специальных инженерно-геологических исследований для обоснования проектных разработок по изоляции или отводу основного источника обводнения месторождения — поверхностных вод за пределы влияния горных работ, а также выбору трасс для сброса рудничных вод и изоляции их с целью устранения вторичного поглощения в заколлектированные карбонатные породы.

Особая осторожность должна быть проявлена при выборе участка для складирования промстоков обогатительной фабрики (хвостохранилищ), с тем чтобы полностью избежать возможную фильтрацию жидкой фазы промстоков в водоносные карбонатные рудовмещающие породы. Это позволит избежать возможное химическое загрязнение рудничных вод, которые должны использоваться для водоснабжения и орошения. Для решения этой задачи также должны быть проведены специальные инженерно-геологические исследования.

Как отмечалось, весь комплекс исследований завершается камеральной обработкой материалов, в состав которых должны войти исследования сложных гидрогеологических задач с помощью методов математического моделирования на ЭВМ (прогнозная оценка общих водопритоков, предварительное изучение рекомендованной схемы осушения объекта и др.).

Наиболее ответственной для гидрогеологических исследований является стадия эксплуатации месторождений третьей группы. Основными задачами комплексных исследований в стадию эксплуатации объектов, как и в предыдущем случае, является обеспечение безопасных в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношениях условий промышленной отработки месторождений на весь длительный срок его эксплуатации.

С этой целью на объекте проводится комплексное изучение режима подземных и поверхностных вод в подземных горных выработках, а также на всех внешних осушительных устройствах с целью обеспечения их бесперебойной работы и оценки эффективности. Содержание этих исследований рассмотрено при описании гидрогеологических условий месторождений второй группы. Важным разделом комплексных исследований режима подземных вод для данной группы месторождений является изучение на площади горных разработок остаточных гидростатических напоров трещинно-карстовых вод. Консервация напоров над горными выработками происходит под влиянием фильтрационной неоднородности карбонатных пород и часто приводит к внезапным прорывам трещинно-карстовых вод на горно-подготовительных горизон-

тах, что может нарушить режим работы. Поэтому по наблюдательным скважинам важно систематически изучать режим уровней трещинно-карстовых вод и в случае обнаружения на отдельных участках высоких гидростатических напоров принимать меры к их снижению путем бурения специальных дренажных скважин, пройденных непосредственно в подземных горных выработках. Результаты комплексного изучения режима подземных вод могут позволить обособовать в случае необходимости дополнительные меры защиты горных работ от обводнения, а также мероприятия по повышению эффективности осушительных устройств.

Стационарные исследования режима подземных вод должны быть также продолжены на водозаборных участках и хвостохранилищах с целью гидрогеологического надзора за их эксплуатацией, а также на территории города с целью предупреждения возможного развития процессов подтопления.

Как видно из целевого назначения большого комплексного изучения режима подземных и поверхностных вод, на предприятии должна быть создана и оборудована специальная опорная и вспомогательная сеть наблюдательных пунктов на площади всех основных его объектов. Принципы размещения с этой целью наблюдательной сети рассмотрены в гл. 7.

С изучением режима подземных и поверхностных вод тесно связано стационарное изучение на объекте техногенных процессов, и прежде всего суффозионно-карстовых процессов и процессов загрязнения подземных вод. Главная задача этих исследований определяется требованиями охраны и защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов, в том числе защиты поверхностных сооружений предприятия от возможной их деформации под влиянием образующихся воронок обрушения на участках развития суффозионно-карстовых процессов.

Важные задачи возникают по обеспечению на предприятии практического использования рудничных вод для целей водоснабжения или орошения земель. Исследования в этом направлении определяются требованиями стационарного изучения качества рудничных вод.

В соответствии с этими задачами определяются основные направления и содержание комплексных исследований. В этот комплекс исследований прежде всего должен войти вышеприведенный перечень для месторождений первой и второй группы месторождений, а также некоторые дополнительные исследования, указанные выше, связанные с особенностями строения геологической среды.

В стадию консервации объекта, как и в предыдущем случае, целесообразно продолжить стационарное изучение режима подземных вод и техногенных процессов с целью охраны и защиты окружающей среды.

В четвертую группу объединены месторождения, имеющие особо сложные гидрогеологические и инженерно-геологиче-

ские условия промышленной их обработки, сложное строение геологического разреза и условия защиты окружающей среды. К этой группе можно отнести железорудные месторождения КМА и др. [22].

В геологическом разрезе месторождения принимают участие слабоустойчивые рудовмещающие метаморфические и изверженные породы, перекрытые мощной толщей (до 150—300, реже до 500—600 м) переслаивающихся песчано-глинистых и карбонатных образований. В толще рудовмещающих и покровных пород обычно формируется целый комплекс напорных водоносных горизонтов, в которых подземные воды имеют очень пеструю минерализацию (от пресных до минерализованных); верхние водоносные горизонты обычно содержат пресную воду; они связаны с поверхностными водами местной гидрографической сети. На объектах чаще всего распространены три типа подземных вод: напорные межпластовые поровые и пластово-трещинные воды, а в толщах четвертичных образований — грунтовые воды аллювиальных и делювиальных отложений. На больших глубинах залегания рудных тел в горных выработках могут формироваться химически активные газы глубинного происхождения (углекислый газ и др.) формирование микроорганизмов в естественных и нарушенных условиях изучено очень слабо.

Суммарные водопритоки в систему горных выработок на объектах могут изменяться в среднем от 1,5—2 до 3,5, реже до 5—6 тыс. м³/ч.

Учитывая весьма сложные природные условия рудных месторождений четвертой группы, очень большое значение и большую ответственность приобретают комплексные исследования, которые должны проводиться в стадию их разведки. Именно в стадию разведки по существу должны быть решены все принципиальные вопросы, связанные с гидрогеологическим и инженерно-геологическим обоснованием безопасных условий промышленной эксплуатации объекта и охраны окружающей среды. В связи с этим на месторождении должен быть выполнен весь комплекс исследований, предусмотренный для объектов, отнесенных к первой, второй и третьей группам.

На объектах, учитывая их сложность, должны быть выполнены в достаточно необходимом объеме следующие основные виды гидрогеологических и инженерно-геологических работ.

1. Бурение специальных скважин самого различного назначения: картировочные (в процессе проведения комплексной съемки на площади месторождения), поисково-разведочные (с целью изучения условий залегания и распространения всех водоносных горизонтов, их взаимодействие в естественных условиях, качественное опробование подземных вод и изучение физико-механических свойств пород и т. д.), опытно-разведочные (для постановки опытно-фильтрационных работ) и наблюдательные (с целью изучения режима подземных вод).

2. Опытнo-фильтpационные работы: пробные, опытные и кустовые откачки с целью изучения гидрогеологических параметров водоносных, а также разделяющих пород. Особое место в содержании опытнo-фильтpационных работ должно занять опытнo-производственное водопонижение.

Опытное водопонижение чаще всего проводится из нижнего, наиболее водообильного водоносного горизонта с помощью откачки из группы разведочных скважин (2—5 скважин); при этом опытный участок должен быть оборудован надежной системой этажно расположенных наблюдательных скважин для всех водоносных горизонтов, распространенных в породах надрудной толщи и в рудовмещающих породах.

Главное целевое назначение опытнo-производственного водопонижения — изучить опытным путем эффективность разработанной схемы осушения рудного месторождения и затем использовать полученные данные для уточнения гидрогеологических параметров водоносных пластов.

3. В связи с современной технологией проходки скважин (скоростные проходки с периодическим отбором керна) существенное значение в общем комплексе исследований приобретают геофизические каротажные работы, которые необходимо проводить на всех гидрогеологических скважинах с целью уточнения литологического их разреза, а также предварительной оценки фильтpационных свойств водовмещающих пород.

4. Стационарное изучение режима подземных и поверхностных вод является одним из основных видов исследований, результаты которых могут позволить использовать их для общей оценки выбора схем осушения месторождения.

С этой целью на разведочной площади должна быть организована опорная и вспомогательная наблюдательная сеть, особенность которой состоит в необходимости ярусного расположения наблюдательных скважин, с тем чтобы в гидрогеологическом разрезе водоносного комплекса обеспечить изучение режима всех типов подземных вод, распространенных в породах надрудной и рудовмещающей толщ.

5. Учитывая требования по использованию всех полезных компонентов рудных месторождений, в том числе пресных подземных вод, а также высокую степень обводненности объектов четвертой группы (при осушении которых откачивается значительное количество подземных вод), весьма ответственным является выбор и гидрогеологическое обоснование схем осушения месторождений и мер защиты горных разработок от подземных и поверхностных вод в стадию разведки рудных месторождений.

Для обеспечения безопасных условий промышленной обработки месторождений, как показывает опыт их эксплуатации, требуется применение рационального сочетания обычных, специальных и индивидуальных способов осушения, в том числе должны быть рассмотрены возможность и эффективность применения для изучаемого объекта схем осушения — водоснабжение, осу-

шение — орошение, а также осушение под защитой противонфильтрационных завес.

Как будет отмечаться в гл. 11, для обоснования каждой из перечисленных выше схем осушения месторождения требуется определенная направленность гидрогеологических работ, которая может существенно отличаться друг от друга. Такие исследования целесообразно проводить в стадию детальной разведки рудного месторождения, когда достаточно четко выявлены гидрогеологические особенности объекта; при этом, однако, крайне необходимо рассмотреть и согласовать проект гидрогеологических работ с заинтересованной проектной организацией, с тем чтобы предварительная оценка эффективности выбранной схемы осушения, которая должна быть выполнена по результатам исследований, целиком вписывалась в проектные проработки промышленного вскрытия месторождения. В связи с тем, что прогнозная оценка общих водопритоков в горные выработки, обоснование рациональных схем осушения месторождения и мер защиты горных разработок от подземных и поверхностных вод и т. д. являются относительно сложными, они требуют рассмотрения вариантных решений для выбора оптимальных условий и должны решаться с помощью методов математического моделирования на ЭВМ. Именно поэтому содержание всех видов гидрогеологических работ в этом направлении должно отвечать требованиям метода математического моделирования.

6. Не менее ответственными при разведке рудных месторождений являются комплексные исследования, связанные с прогнозной оценкой возможного формирования техногенеза и его негативного влияния на изменение свойств геологической среды и ухудшение экологического качества окружающей среды в стадию эксплуатации будущего горнорудного предприятия. В связи с этим необходимо предварительно оценить возможную площадь развития депрессионной воронки при осушении горных разработок на объекте исследований, выполнить прогнозную оценку возможного формирования различных техногенных процессов, проанализировать их негативное влияние и в соответствии с этим разработать рекомендации по мерам защиты окружающей среды. При этом мероприятия по защите окружающей среды могут являться непосредственно составной частью принятой схемы осушения месторождения.

При решении прогнозных задач по гидрогеологическим аспектам охраны окружающей среды необходимо обратить внимание на возможное развитие следующих техногенных процессов: а) дренирование действующих в районе месторождения децентрализованных и централизованных водозаборов, используемых для целей водоснабжения прилегающих городов и других населенных пунктов; б) степень дренирования поверхностных вод местной речной сети при осушении горных разработок и необходимость их изоляции или отвода; в) степень вторичного депрессионного уплотнения песчано-глинистых образований при осушении пород

надрудной толщи и его влияние на деформацию поверхности, подземных коммуникаций, поверхностных сооружений и т. д. Как и в предыдущих случаях, комплексные исследования при разведке рудных месторождений должны завершаться камеральной обработкой материалов, составлением отчета (вместе с подсчетом разведанных запасов рудных залежей), в котором в конечном счете должны быть изложены гидрогеологические и инженерно-геологические основы промышленного освоения изучаемого объекта.

В стадию проектирования и строительства горнорудного предприятия (как и для рудных месторождений третьей группы) необходимо провести дополнительные, более детальные комплексные исследования применительно к требованиям разрабатываемого проекта будущего предприятия и конкретного размещения по площади основных его объектов.

С этой целью целесообразно провести следующие виды работ: а) бурение скважин и опытно-фильтрационные работы на участках проектирования шахтных стволов (при подземном способе отработки месторождения); б) продолжение комплексных исследований более детального характера на опытном участке по производственному испытанию выбранной схемы осушения для данного конкретного объекта (бурение дополнительных скважин и опытно-фильтрационные исследования), а также продолжение исследований методом моделирования на ЭВМ по оценке эффективности схемы осушения; в) комплексные исследования на участках проектирования — складирования пустых пород, накопителей промстоков (хвостохранилищ), а также на территории будущего города. Такие исследования проводятся чаще всего силами и средствами проектных организаций или путем привлечения специализированных гидрогеологических организаций. В стадию строительства объектов на предприятии существенной является гидрогеологическая документация горно-подготовительных работ (осушительных устройств и т. д.), а также общий авторский надзор за всеми объектами строительства на предприятии. Продолжение в эту стадию стационарных наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод является обязательным, что обеспечивает непрерывность очень важной гидрогеологической информации.

В стадию эксплуатации рудного месторождения комплексные исследования должны выполняться с целью решения следующих основных задач: а) обеспечение на всех объектах горнорудного предприятия безопасных и бесперебойных условий их эксплуатации, а также гидрогеологического надзора за соблюдением на объекте всех проектных проработок, предусмотренных при проходке горных выработок, эксплуатации осушительных устройств водозаборного сооружения, хвостохранилищ, а также городской территории; б) оценка эффективности принятой на предприятии схемы осушения горных разработок; в) гидрогеологическое обоснование дополнительных мероприятий по осушению месторождения, необходимость в которой постоянно

возникает при эксплуатации объектов с весьма сложными природными условиями; г) охрана и защита окружающей среды от негативного влияния техногенеза, на всех основных объектах горнорудного предприятия.

Для решения основных задач целесообразно предусмотреть на объекте проведение следующих видов гидрогеологических, гидрологических и инженерно-геологических работ.

1. Комплексные стационарные наблюдения за режимом уровня подземных вод, водопритоками в горные выработки (в карьеры), дебитом дренажных (осушительных) устройств и водозаборных сооружений, поверхностных вод, химическим и санитарно-бактериологическим составом подземных и поверхностных вод, а также изучение техногенных процессов.

Комплексные исследования должны проводиться на базе хорошо организованной и оборудованной на предприятии опорной и вспомогательной сети—наблюдательных пунктов (буровых наблюдательных скважин, пройденных на участках горных разработок хвостохранилищ, водозаборе и городской территории, в подземных горных выработках или внутри карьера, гидрометрических постов на гидрографической сети, геодезических реперов, оборудованных в сфере влияния осушительных устройств и т. д.).

Именно в этом направлении должна быть получена систематическая комплексная информация для решения практических текущих задач и возникающих новых задач при эксплуатации основных объектов горнорудного предприятия.

Весьма существенными для данной группы рудных месторождений являются стационарные наблюдения за формированием и развитием техногенных процессов непосредственно в горных выработках на поверхности, на участках хвостохранилищ и водозаборного сооружения. Своевременная оценка степени их негативного влияния на нарушение безопасных условий промышленной отработки месторождения, а также на изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в целом позволит принимать ряд защитных мер.

При длительной эксплуатации месторождений четвертой группы целесообразно обратить внимание на изучение наиболее распространенных техногенных процессов:

а) коренное изменение условий взаимодействия между водонесными горизонтами (и прежде всего с горизонтами, содержащими пресные подземные воды, используемые для водоснабжения), между подземными и поверхностными водами, а также взаимодействия между действующими на предприятии осушительными устройствами и водозаборными сооружениями;

б) процессы вторичной консолидации осушенных рыхлых пород и депрессионного уплотнения песчано-глинистых пород надрудной толщи при снятии пластового давления напорных водонесных горизонтов, приводящие к деформации поверхности, нередко к деформации подземных коммуникаций и поверхностных сооружений;

в) процессы фильтрационной деформации бортов карьера, формирующиеся при высоких избыточных напорах подземных вод и недостаточной степени осушения водоносных пород;

г) процессы фильтрационно-суффозионной деформации горных выработок при проходке их в обводненных зонах тектонических нарушений и др.;

д) техногенные процессы загрязнения подземных и поверхностных вод на участках хвостохранилищ, а также при сбросе неочищенных рудничных вод;

е) процессы подтопления городских территорий под влиянием избыточного увлажнения почвогрунтов;

ж) процессы истощения эксплуатационных запасов подземных вод на водозаборе и др.

Для реализации комплексных исследований в указанных направлениях на предприятии необходимо разработать проект работ, определить и выполнить необходимый для конкретного объекта объем бурения дополнительных гидрогеологических и инженерно-геологических скважин, строительство опорных наблюдательных гидрометрических постов и геодезических реперов.

Принципы размещения опорной наблюдательной сети и методические приемы проведения комплексных стационарных наблюдений изложены в гл. 7.

2. Проведение на площади всего горнорудного предприятия повторной (техногенной) комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки с целью картирования и оценки эволюционного изменения свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды, формирующихся под влиянием техногенных процессов. Результаты техногенной съемки могут позволить более осмысленно и обоснованно наметить дополнительные мероприятия по защите окружающей среды.

Масштаб техногенной комплексной съемки должен устанавливаться в каждом конкретном случае самостоятельно, в зависимости от площади развития техногенеза, степени сложности изучаемого объекта и других факторов.

Кроме того, необходимо предусматривать в стадию эксплуатации объектов четвертой группы проведение других видов комплексных исследований, перечисленных выше для рудных месторождений первой, второй и третьей групп рассмотренной ранее классификации.

Как следует из изложенного, при изучении рудных месторождений четвертой группы в стадию их эксплуатации возникает целый ряд крупных задач, решение которых требует проведения довольно сложного по своему содержанию, ответственности и большому объему комплекса исследований. Как показывает накопленный опыт, для успешного решения перечисленных выше задач в составе горнорудного предприятия должна быть организована самостоятельная, специализированная гидрогеологическая служба с правами контроля, оснащенная современными техническими средствами.

Часть II

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СТАДИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава 7

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПЛОЩАДИ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

Общие замечания, задачи и состав исследований

Выше отмечалось, что в процессе эксплуатации основных объектов горнорудного предприятия — горных разработок, отвалов пустых пород, хвостохранилищ, водозаборных сооружений и освоения городских территорий под воздействием техногенных процессов всегда происходят значительные изменения гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических условий. Именно в стадию эксплуатации горнорудного предприятия необходимо проводить целый комплекс специализированных работ, направление и содержание которых представляют собой исследования, связанные с изучением техногенных (нарушенных) условий. Такие исследования целесообразно назвать техногенными гидрогеологическими и инженерно-геологическими.

Наиболее существенные изменения свойств геологической и окружающей среды в целом происходят при осушении горных разработок. Весь комплекс инженерных мероприятий при эксплуатации непосредственно рудных объектов, включая различные системы дренажа подземных вод, предусматривает обеспечение безопасных условий промышленного освоения месторождения. Однако при этом под влиянием техногенеза появляется тенденция к ухудшению экологического качества окружающей среды.

На всех объектах предприятия в комплексе техногенных исследований должны входить гидрогеодинамические, гидрогеохимические, геодинамические, гидрологические и геокриологические (в условиях распространения многолетнемерзлых пород) исследования.

Гидрогеодинамические исследования на предприятии должны быть направлены на стационарное изучение: режим уровней и температуры подземных вод, дебита водозаборных скважин, а также осушительных и дренажных устройств, изучение режима водопритокков в подземные горные выработки и на площади карьеров, режима взаимосвязи подземных и поверхностных вод, а также осушительных устройств с водозаборными сооружениями и др. [30, 31].

Собранная в этом направлении гидрогеологическая информация должна быть использована для оценки: условий водоносности рудовмещающих пород и пород надрудной толщи; эффективности

действующих на предприятии водозабора осушительных, дренажных и защитных устройств; остаточных гидростатических напоров рудничных вод, формирующихся над горными выработками; возможных водопритоков в горные выработки на нижние рудные горизонты, проектируемые к очередной отработке; условий формирования депрессионной воронки; возможного развития на городской территории техногенных процессов подтопления; уточнения гидрогеологических параметров; обоснования дополнительных мероприятий по защите горных работ от обводнения, а водозаборов от истощения эксплуатационных запасов подземных вод и др.

С помощью гидрогеохимических исследований должны быть изучены: химический состав подземных вод и его изменение во времени под влиянием техногенных факторов на всех основных объектах предприятия; условия загрязнения подземных поверхностных вод на участках горных разработок, водозаборов, отвалов пустых пород, хвостохранилищ промстоков обогатительных фабрик и сброса рудничных вод. В результате гидрогеохимических исследований должна быть получена информация, позволяющая произвести оценки: степени загрязнения подземных вод, возможного загрязнения геологической и окружающей среды; условий миграции во времени загрязненных подземных вод; мероприятий по защите окружающей среды от возможного изменения экологического ее качества и др.

В геодинамические инженерно-геологические исследования входят: изучение условий формирования техногенных процессов деформации горных пород на участке горного цеха (в подземных горных выработках и в бортах карьера), а также хвостохранилищ и водозаборных участках; стационарные изучения оползневых процессов и др. [23].

Исследования в этих направлениях должны проводиться с целью оценки: устойчивости пород в подземных горных выработках, на бортах и уступах карьера; устойчивости дамбы хвостохранилища и уступов отвалов пустых пород; условий формирования зоны сдвижения и обрушения горных пород при горных разработках; возможной деформации поверхности на участках крупных водозаборных сооружений, а также возможного развития естественных геодинамических процессов (оползней по склонам, селевых потоков и др.) на предприятиях, расположенных в горных условиях.

Гидрологические исследования проводятся с целью стационарного изучения режима поверхностного стока местной речной сети, расположенной непосредственно на территории горнорудного предприятия, а также изменения в годовом разрезе расходов рек, уровенного режима и качества поверхности вод. Главная направленность этих исследований заключается в оценке влияния речного стока на обводнение месторождения и в разработке дополнительных мероприятий по защите горных работ от поверхностных вод.

Опыт работы говорит о необходимости проведения периодических комплексных наблюдений на участках законсервированных горных объектов, где производственная деятельность прекращена (шахты, карьеры, штольни, старые отвалы пустых пород, хвостохранилище и др.). Основная направленность периодических исследований состоит в охране и защите окружающей среды от негативного влияния техногенных процессов, развитие которых может происходить в стадию консервации.

Комплексные техногенные исследования в стадию промышленной отработки рудных месторождений, как видно из изложенного, имеют первостепенное значение для предприятия и поэтому должны проводиться на объекте на высоком качественном уровне. Учитывая это очень важное положение, весь комплекс техногенных исследований должен проводиться гидрогеологической службой предприятия по единой программе и единой методике.

Перечисленные выше задачи определяют следующий основной состав комплексных исследований, которые проводятся в стадию промышленного освоения рудных месторождений:

а) детальная комплексная (гидрогеологическая и инженерно-геологическая) техногенная съемка территории, охватывающей расположение всех основных объектов горнорудного предприятия — горные разработки, участок складирования пустых пород и бедных руд, обогатительную фабрику и хранилище промышленных отходов фабрики, автономное водозаборное сооружение и территорию города; б) детальная съемка в подземных горных выработках и на площади карьерной разработки предприятия; в) стационарное изучение режима подземных и поверхностных вод на всех основных объектах горнорудного предприятия; г) буровые работы для организации на поверхности опорной и вспомогательной режимной сети, а также в подземных горных выработках для опережающего изучения гидрогеологических условий их проходки и дренажных целей; д) лабораторные работы с целью изучения химического и санитарно-бактериологического составов подземных и поверхностных вод, а также физико-механических свойств горных пород; е) топогеодезические и маркшейдерские работы для плано-высотной увязки наблюдательных пунктов режимных наблюдений, а также стационарного изучения техногенных геодинамических процессов; ж) камеральная обработка материалов.

Рассмотрим содержание и некоторые методические приемы проведения основных видов комплексных исследований.

Детальная техногенная (повторная) съемка

Детальная комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка названа техногенной потому, что призвана она для документации и картирования нарушенных (техногенных) условий, сформировавшихся под влиянием эксплуатации основных объектов горнорудного предприятия.

Под влиянием техногенеза в районе деятельности горнорудных предприятий в верхней части земной коры формируется, по существу, микротехногеосфера, на детальное изучение которой должна быть направлена техногенная съемка. Для ее проведения можно использовать традиционные методические приемы, которые используют при обычных детальных съемках в масштабах 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, в зависимости от площади изучаемого объекта. Поскольку техногенная комплексная съемка призвана изучать и отражать на карте нарушенные гидрогеологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия, ее проведение целесообразно проводить на предприятии периодически, но не ранее как через 5—8 лет с начала эксплуатации объекта (в зависимости от степени сложности промышленной обработки рудного месторождения). Комплексная техногенная съемка должна проводиться на готовой геологической основе, а также с использованием ранее собранной (в стадию разведки объекта) информации, характеризующей естественные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Учитывая, что в процессе проведения на предприятии других видов исследований накапливается довольно значительная информация, комплексная техногенная съемка должна базироваться также на максимальном ее использовании. Таким образом, техногенные съемочные работы, по существу, будут сводиться к тщательному сбору, обобщению и анализу гидрогеологической и инженерно-геологической информации, полученной в стадии разведки и эксплуатации объекта, а также в результате дополнительных (в случае необходимости) маршрутных исследований.

По результатам техногенной съемки можно рекомендовать составление следующих карт: а) карты гидроизогипс (гидроизопьез), отражающие режим и структуру нарушенного фильтрационного потока; б) карты распространения различных техногенных процессов, формирующихся под негативным влиянием техногенеза; в) карты мощностей и строения техногенной зоны аэрации осушенных горных пород на площади горных разработок; г) гидрогеохимические карты, отражающие химический состав и загрязнение подземных вод в техногенных условиях.

На некоторых предприятиях в зависимости от их природных особенностей могут быть составлены и другие техногенные карты. Сравнивая естественные и нарушенные условия в сфере деятельности горнорудного предприятия, можно оценить степень и условия формирования техногенеза, а также наметить (в случае необходимости) дополнительные меры защиты окружающей среды от его негативного влияния.

В связи с тем, что рудные месторождения имеют различную степень сложности геологической среды и промышленного освоения, техногенное картирование целесообразно проводить преимущественно при эксплуатации объектов, отнесенных к третьей и четвертой группам по принятой их классификации (см. табл. № 10). Именно при эксплуатации рудных месторождений,

приуроченных к интенсивно обводненным карбонатным породам, а также объектов, на которых мощная надрудная толща пород представлена многопластовой водоносной системой, происходит существенное изменение природных условий и техногенез распространяется на большую площадь и большую глубину.

Детальная съемка подземных горных выработок и карьерных разработок

Эта съемка является обязательной при эксплуатации всех рудных месторождений. Сущность комплексной съемки состоит в систематической документации гидрогеологических и инженерно-геологических условий проходки всех подземных горных выработок и карьерных разработок. Первичная гидрогеологическая и инженерно-геологическая документация горных разработок как первый этап исследований обычно проводится по отдельным пройденным горизонтам или по отдельным уступам карьера. Суть таких исследований заключается в составлении погоризонтных гидрогеологических и инженерно-геологических планов. Картирование в этом направлении необходимо проводить на готовой геологической основе, отражая на погоризонтных планах характер выхода рудничных вод (в форме капеза, тонких струй или сосредоточенного выхода) их дебит при вскрытии, элементы залегания водоносных трещин, устойчивость пород в горных выработках, проявления геодинамических процессов и т. д. (рис. 22).

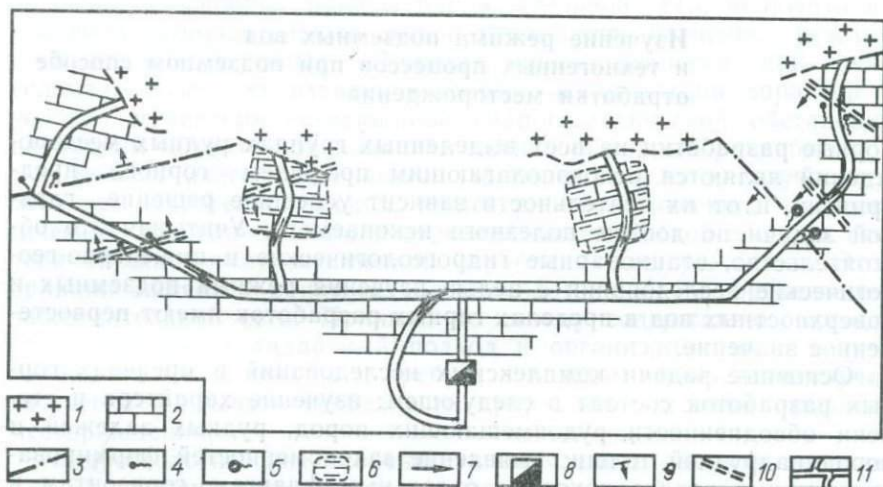


Рис. 22. Геолого-гидрогеологический план рабочего горизонта рудника.

Породы: 1 — изверженные, 2 — карбонатные, 3 — тектонические нарушения с зоной дробления пород (требуется крепление горных выработок). Выходы подземных вод: 4 — интенсивный сосредоточенный, 5 — в форме мелких струй, 6 — в форме интенсивного капеза, 7 — направление стока рудничных вод; 8 — шахта (центральная); 9 — элементы падения тектонических нарушений мелких открытых трещин; 10 — водоносные открытые трещины; 11 — подземные горные выработки

Комплексное картирование отдельных горизонтов подземных горных выработок и бортов карьера позволяет в дальнейшем оценить условия и степень их обводненности, наметить опорные наблюдательные пункты для стационарного изучения режима рудничных вод, а также осуществить оперативные меры защиты горных выработок от высокой степени обводнения. Гидрогеологические и инженерно-геологические совмещенные планы должны быть составлены на каждом пройденном горизонте, охватывая такими исследованиями всю систему горных разработок предприятия в целом [23].

Очень важно в процессе картирования подземных горных выработок проводить первичную документацию гидрогеологических скважин, которые проходятся с целью опережающего изучения условий ведения горных работ или осушения отдельных участков.

При инженерно-геологическом картировании, в процессе первичной документации необходимо установить формы проявления в горных выработках различных геодинамических процессов: участки интенсивно-трещиноватых пород; крупные тектонические нарушения; степень неустойчивости горных пород, требующих сплошного или частичного крепления; проявления горных ударов; текучести глинистых пород и др.

На основе анализа документации подземных горных выработок должны быть выбраны наиболее характерные участки на горизонтах для создания опорной и вспомогательной наблюдательной сети с целью стационарного изучения режима рудничных вод и техногенных процессов.

Изучение режима подземных вод и техногенных процессов при подземном способе обработки месторождения

Горные разработки на всех выделенных группах рудных месторождений являются основополагающим профилем горного предприятия, и от их деятельности зависит успешное решение главной задачи по добыче полезного ископаемого. Учитывая это обстоятельство, стационарные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования с целью изучения режима подземных и поверхностных вод в пределах горных разработок имеют первостепенное значение.

Основные задачи комплексных исследований в пределах горных разработок состоят в следующем: изучение характера и степени обводненности рудовмещающих пород, рудных залежей и пород надрудной толщи; выявление закономерностей формирования режима водопритокков по отдельным флангам, горизонтам и месторождениям в целом; установление условий формирования в подземных горных выработках и в карьерах техногенных процессов (оползневых, обрушений, горных ударов, внезапных прорывов подземных вод и др.); оценка режима работы подземных (внутришахтных) и прибортовых (на карьерах) а также внеш-

них дренажных сооружений, их эффективности и технического состояния [19].

Важным является изучение химического состава и степени загрязнения собственно рудничных вод, их возможного агрессивного влияния на бетонные и металлические конструкции горных выработок, характера газопроявления в горных выработках и его влияния на безопасные условия промышленной отработки месторождения, а также оценка рудничных вод с целью использования для водоснабжения и орошения.

Базой этих исследований является хорошо организованная на объекте стационарная сеть наблюдательных пунктов.

В настоящее время слабо разработана научно-методическая основа организации и размещения наблюдательной сети вообще, в том числе применительно к организации сети на рудных месторождениях в стадии их промышленного освоения. В связи с этим целесообразно вначале изложить общие рекомендации по основным принципам организации и размещению наблюдательной сети, содержание которых можно использовать при проектировании режимных пунктов [18, 30, 23].

Принцип преемственности наблюдательной сети заключается в следующем. В процессе разведки месторождений, как известно, всегда проводятся стационарные изучения естественного режима подземных и поверхностных вод. Для этого в пределах разведываемого рудного поля оборудуется та или иная сеть наблюдательных буровых скважин и водомерных постов. Весьма важно в дальнейшем в стадию эксплуатации месторождения переоборудовать на объекте основные пункты наблюдательной сети, включить их в общую наблюдательную сеть и продолжить изучение режима в нарушенных условиях. Принцип преемственности при таких условиях позволяет изучить в стадию эксплуатации характер и условия изменения естественной гидрогеологической обстановки на рудном объекте под влиянием осушения горных разработок.

Принцип учета особенностей природных условий изучаемого объекта: гидрогеологических, инженерно-геологических, гидрологических, степени сложности строения геологической среды и степени сложности промышленной отработки месторождения. Этот принцип является одним из основополагающих в организации наблюдательной сети. Принцип по своему содержанию прежде всего отрицает стандартный подход к организации на объектах наблюдательных пунктов и требует в каждом конкретном случае творчески учитывать особенность природных условий рудного месторождения.

Гидрогеологические особенности изучаемого объекта характеризуют: степень водообильности рудных залежей и пород надрудной и подрудной толщ; условия залегания и распространения водоносных горизонтов и комплексов; химический состав различных типов подземных вод и их агрессивность; условия питания и взаимосвязь подземных и поверхностных вод. В совокупности эти особенности определяют источники обводнения горных выра-

боток (в шахтах и карьерах), выбор соответствующих схем осушения месторождения и меры защиты горных выработок от обводнения, а окружающей среды от техногенеза. В конечном счете эти факты служат обоснованием для размещения на объекте специальной наблюдательной сети для проведения стационарных гидродинамических и гидрогеохимических исследований.

Инженерно-геологические особенности изучаемого объекта характеризуют прежде всего степень устойчивости горных пород в горных выработках, их способность к возможному развитию техногенных, геодинамических процессов в стадии промышленной отработки месторождения, а также к возможному изменению в нарушенных условиях свойств горных пород.

В совокупности инженерно-геологические особенности определяют на объекте выбор средств защитных горных выработок от их деформации, необходимость дополнительных мер локального осушения с целью, например, улучшения устойчивости уступов бортов карьера и др.

Как и в предыдущем случае, эти факторы могут быть положены в основу проектирования наблюдательных пунктов и проведения стационарных геодинамических исследований.

Сложность строения геологической среды на некоторых рудных объектах может также определяться характером и степенью проявления естественных газов, и прежде всего вредных, токсичных и химически активных. Газоносность изучаемого объекта может потребовать дополнительных мер защиты горных выработок от их токсичности и агрессивности, а также определить дополнительные стационарные исследования на объекте. Наиболее существенным фактором, характеризующим гидрогеологические особенности месторождения и определяющим условия размещения наблюдательной сети, является характер взаимосвязи подземных и поверхностных вод, а также водоносных горизонтов. Своевременное изучение этих факторов в стадии эксплуатации рудных месторождений может позволить оценить эффективность принятой системы осушения и мер защиты горных выработок от обводнения. На рис. 23 представлена примерная схема ярусного расположения наблюдательных скважин с целью изучения гидрогеологических особенностей месторождения. На каждом водоносном горизонте должна быть оборудована наблюдательная скважина.

Что же касается проектирования на месторождении геодинамических пунктов для стационарных наблюдений с учетом особенностей инженерно-геологических условий, то в этом направлении целесообразно предусмотреть схему их размещения совместно с маркшейдерской службой предприятия, которая обязана проводить систематические наблюдения за деформацией горных пород в выработках и по поверхности. Инструментальные наблюдения за деформацией поверхности при подземном и открытом способах отработки месторождения обычно проводятся с помощью системы закрепленных по профилям геодезических реперов.

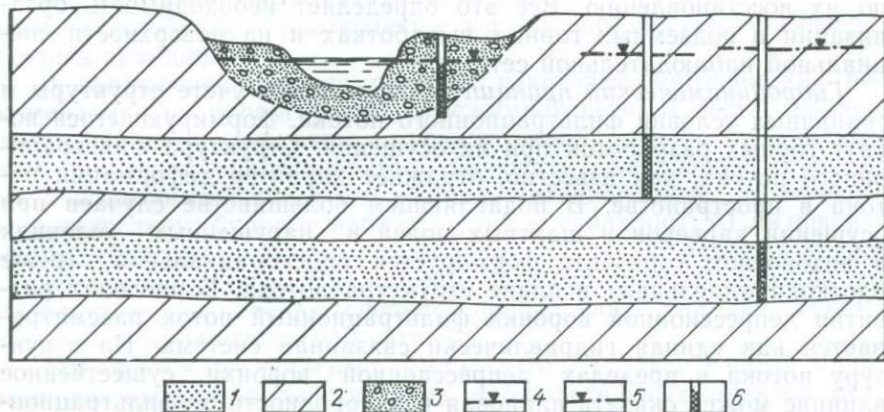


Рис. 23. Примерная схема ярусного расположения наблюдательных скважин.

Породы: 1 — водоносные, 2 — слабопроницаемые, 3 — водоносные аллювиальные. Уровень вод: 4 — грунтовых, 5 — напорных, 6 — наблюдательные скважины, оборудованные фильтрами

Горнотехнический принцип, сущность которого заключается в учете шахтного или карьерного способа промышленной обработки рудных месторождений. Эти способы, а также содержание некоторых задач комплексных стационарных исследований предопределяют особенности организации наблюдательной сети. Например, при обработке рудных месторождений открытым способом основная задача стационарных комплексных исследований заключается в том, чтобы обеспечить своевременный надзор за устойчивостью бортов карьера, предотвратить их деформацию, оценить эффективность осушения и т. д. Для успешного решения этой задачи и должна быть запроектирована наблюдательная сеть непосредственно в карьере (для учета внутрикарьерного водоотлива), на участках наиболее обводненных уступов, а также вне карьера для изучения режима работы внешних осушительных устройств.

Шахтный способ обработки также имеет свои особенности размещения наблюдательной сети и особенности решения некоторых гидродинамических задач. На интенсивно обводненных рудных месторождениях, отнесенных к третьей и четвертой группам по степени сложности промышленной их обработки (см. табл. 5), часто возникает необходимость (помимо изучения режима водопритоков и условий развития депрессионной воронки) контроля за режимом остаточных (законсервированных) гидростатических напоров, формирующихся над горными выработками основных рабочих горизонтов под влиянием фильтрационной неоднородности водовмещающих пород. Большие остаточные напоры нередко являются причиной внезапных прорывов рудничных вод в подземные горные выработки. Эти процессы приводят к затоплению горных выработок и, как следствие, к нарушению ритма работы предприятия и к необходимости выполнения трудоемких работ

по их восстановлению. Все это определяет необходимость организации в подземных горных выработках и на поверхности специальной наблюдательной сети.

Гидродинамический принцип заключается в учете структуры и граничных условий фильтрационного потока, формирующегося вокруг горных разработок при их осушении. Структура фильтрационного потока, как известно, отражает характер деформации потока в пространстве. В подавляющем большинстве случаев при осушении карьеров и шахтных полей в нарушенных условиях в водоносном горизонте формируется плоскорадиальная (реже плоскопараллельная) в плане структура потока. В пределах развития депрессионной воронки фильтрационный поток рассматривается как единая гидравлически связанная система. На структуру потока в пределах депрессионной воронки существенное влияние может оказать плановая неоднородность геофильтрационной среды, тесно связанная с методологическими и геолого-структурными особенностями пород водоносной толщи. Плановая неоднородность в проницаемости может иметь непрерывный характер или кусочно-неоднородное распределение проницаемости. В последнем случае вся область потока состоит как бы из отдельных зон, каждую из которых можно считать однородной, а изменения параметров на границах зон происходят скачкообразно. Плановая неоднородность пласта хорошо отражается на карте проводимости. Для слоистого разреза, слагающего рудные месторождения, характерным является неоднородная по водопроницаемости среда в вертикальном разрезе, когда отмечается переслаивание водоносных и слабопроницаемых (разделяющих) пород. Эти условия определяют специфическую структуру потока, в которой обычно принимаются предпосылки перетекания. Согласно этой предпосылке, при существенной разнице в проницаемости водоносных и разделяющих слоев, движение жидкости в разделяющих слоях рассматривается только в вертикальном направлении, а в водоносных пластах рассматривается горизонтальный характер фильтрации.

Что же касается граничных условий фильтрационного потока в плане, то они отражают условия взаимоотношений водоносных горизонтов с окружающей средой, и в первую очередь с таким фактором, как гидравлическая связь с поверхностными водами (рекой, озером, водоемом). Изучение формы и режима связи водовмещающих пород с поверхностными водами является одним из важных разделов комплексных стационарных техногенных исследований. Для такого изучения предусматривается размещение на границах пласта специальных наблюдательных постов.

Таким образом, гидродинамический принцип по своему содержанию довольно четко определяет проектирование и размещение наблюдательной сети для проведения стационарных комплексных исследований на рудных месторождениях в стадию их эксплуатации: в плане — радиально-лучевая система, а в разрезе — ярусная система наблюдательных пунктов.

На каждом конкретном объекте размещение наблюдательной сети целесообразно производить с учетом перечисленных выше основных принципов.

В заключение раздела отметим некоторые методические рекомендации по проектированию режимной сети. В состав наблюдательной сети в стадию промышленной отработки рудных месторождений целесообразно включить следующие пункты: а) в подземных горных выработках — стационарные и переносные водосливы, буровые наблюдательные скважины; б) на поверхности — буровые скважины, водомерные посты на реках, а также геодезические репера. Всю систему наблюдательных пунктов по их целевому назначению следует подразделить на две группы: опорной и вспомогательной сети.

Опорная режимная сеть — это тот обязательный минимум долговременно действующих наблюдательных пунктов стационарных комплексных режимных исследований, информация по которым должна позволить своевременно решить гидрогеологические и инженерно-геологические задачи, возникающие на каждом конкретном изучаемом объекте в стадию его эксплуатации.

Учитывая целевое назначение, опорная наблюдательная сеть в инженерном отношении должна быть капитально оборудована, с тем чтобы обеспечить бесперебойную и непрерывную ее эксплуатацию на длительное время.

При этих условиях можно получить необходимую и достаточно качественную первичную гидрогеологическую и инженерно-геологическую информацию.

На всех объектах горнорудного предприятия должна быть организована единая опорная сеть наблюдательных пунктов. В ее состав целесообразно включить:

1. Систему наблюдательных буровых скважин, пройденных с поверхности и в горных выработках, с целью изучения режима уровня подземных вод, их химического состава, а также дебита различных осушительных установок; наблюдательные скважины, расположенные на участках водозаборных сооружений между водозабором и осушительными устройствами (с целью изучения режима водоотбора и условий взаимодействия между ними), а также скважины на участках хранилищ промстоков обогатительных фабрик (хвостохранилищ), заданные с целью изучения режима продвижения фронта возможного химического загрязнения подземных вод.

2. Систему наблюдательных пунктов (стационарных водосливов, гидрометрических постов и т. д.), расположенных непосредственно в подземных горных выработках и на поверхности, с целью изучения режима рудничных вод, расходов родников и поверхностных вод.

3. Систему инженерно-геологических пунктов наблюдений (геодезические репера и т. д.), создаваемых на предприятии с целью изучения режима геодинамических процессов на пло-

щади горных разработок (на поверхности и в подземных горных выработках), водозаборных сооружений и хвостохранилищах.

Таким образом, опорная режимная сеть по своему составу должна иметь комплексный характер, а стационарные исследования целесообразно проводить совместно силами геологической, гидрогеологической и маркшейдерской служб предприятия.

Вспомогательная режимная сеть должна состоять из временно действующих наблюдательных пунктов (буровых скважин, водосливов, геодезических реперов и т. д.), оборудуемых периодически на различных изучаемых объектах предприятия по мере необходимости выявления некоторых деталей, характеризующих особенности или сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий эксплуатации. Например, с целью выявления некоторой сложности структуры фильтрационного потока, формирующегося на площади осушения горных разработок, может возникнуть необходимость бурения на поверхности дополнительных к опорной сети наблюдательных скважин, данные по которым позволят уточнить карту гидроизогипс. Эта карта необходима для решения целого ряда практических задач (определение направления основных потоков подземных вод к горным выработкам, изучение условий взаимодействия с окружающей средой и т. д.).

Вспомогательная режимная сеть по своему назначению является дополнительной к действующей опорной сети, как правило, должна организовываться на предприятии по мере необходимости. После завершения необходимых исследований наблюдательные пункты вспомогательной сети могут быть ликвидированы без ущерба для качества последующих исследований.

Изучение режима подземных вод и геодинамических процессов при подземном способе промышленной обработки рудных месторождений должно слагаться из двух взаимосвязанных направлений исследований, которые проводятся непосредственно в горных выработках и на поверхности.

При этом в состав работ стационарного изучения режима подземных вод и техногенных процессов должны входить следующие стационарные наблюдения: а) за режимом водопритоков в горные выработки, за температурным режимом и химическим составом рудничных вод на отдельных флангах шахтного поля, отдельных горизонтах, а также в пределах шахтного поля в целом; б) за режимом остаточного (законсервированного) гидростатического напора подземных вод над очистными выработками и горными выработками подготовительного и эксплуатационного горизонтов; в) наблюдения при бурении гидрогеологических опережающих разведочных скважин (наблюдение за дебитом, химическим составом и температурой), пройденных непосредственно в подземных горных выработках с целью снижения остаточных напоров и дренажа подземных вод; г) за химическим составом, агрессивностью и санитарным состоянием рудничных вод, сбрасываемых на поверхность; д) за режимом автономного каптаж-

ного сооружения, устроенного непосредственно в подземных горных выработках, с целью организации хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятия за счет использования рудничных вод (наблюдения за дебитом, химическим составом и температурой рудничных вод); е) за режимом подземных вод непосредственно на поверхности в сфере влияния шахтного водоотлива, внешних дренажных устройств, а также на прилегающих площадях; ж) изучение техногенных процессов, формирующихся на поверхности, в том числе организация (в случае необходимости) стационарных геодинамических наблюдений за деформацией поверхности и поверхностных сооружений.

Изложенная краткая характеристика основных видов комплексных исследований рекомендуется главным образом при эксплуатации рудных месторождений, отнесенных ко второй, третьей и четвертой группам, характеризующимся сложным и особо сложным строением геологической среды и сложными условиями промышленной их отработки. Промышленное освоение этих месторождений всегда сопровождается специальными способами осушения, индивидуальными приемами защиты горных работ от обводнения, негативным влиянием техногенных процессов на окружающую среду. В таких условиях возникает необходимость проведения комплексных исследований в полном их объеме, как отмечено выше. Что же касается рудных объектов, отнесенных к первой и частично второй группам, которые часто характеризуются простыми условиями, невысокой степенью обводнения и ограниченным по площади влиянием на окружающую среду, то состав и содержание комплексного изучения режима подземных вод в значительной степени могут быть упрощены. Это объясняется несколькими факторами: а) осушение объектов первых двух групп, как правило, осуществляется простыми способами под защитой внутришахтного или внутрикарьерного водоотлива; б) сфера влияния шахтного водоотлива на изменения свойств окружающей среды часто имеет очень ограниченную площадь распространения, не более 3—4 км². Опыт промышленного освоения показывает, что комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в стадию эксплуатации объектов, отнесенных к первой группе целесообразно выполнять непосредственно в составе геологической службы предприятия.

Рассмотрим методические приемы проведения стационарных наблюдений в пределах горных разработок. Непосредственно в подземных горных выработках опорная наблюдательная сеть должна быть оборудована стационарными установками-водосливами, а вспомогательная сеть — переносными водосливами. На рис. 24 приведена примерная схема расположения режимной опорной и вспомогательной сетей одного действующего предприятия. Это месторождение приурочено к толще интенсивно обводненных известняков, и по степени гидрогеологической сложности его отработка относится к третьей группе приведенной выше классификации. Такое расположение сети и данные режимных иссле-

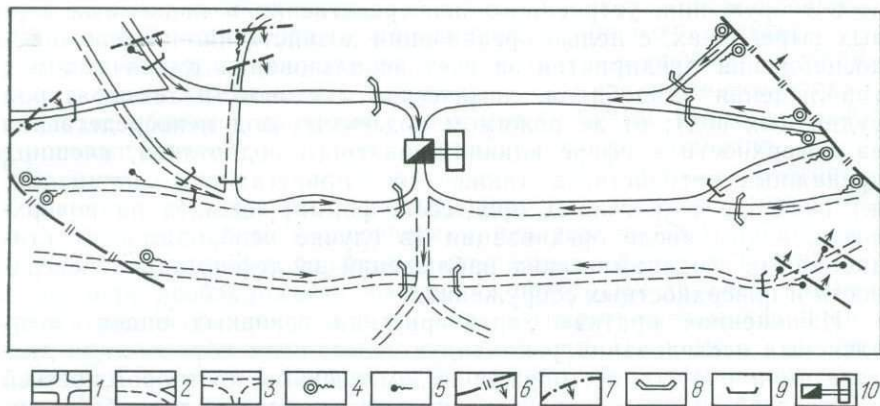


Рис. 24. Совмещенный план горных разработок и схема расположения опорной наблюдательной сети за режимом рудничных вод.

Горные выработки обводненных горизонтов: 1 — третьего, 2 — четвертого, 3 — пятого; 4 — сосредоточенный выход подземных вод с дебитом более 1000 м³/ч; 5 — струйчатый выход подземных вод с дебитом более 5—10 м³/ч; 6 — тектоническое нарушение и элементы его падения; 7 — открытые мелкие водоносные трещины и элементы их падения; 8 — опорные пункты наблюдательной сети (водосливы); 9 — вспомогательные пункты наблюдений; 10 — шахта с водоприемником и насосной станцией.

Стрелками показано направление стока рудничных вод

дований позволили установить различную степень обводнения горных выработок и определить значения удельных водопритоков по квершлагам и штрекам (водопритоки на 100 м длины выработок) раздельно по восточному и западному флангам месторождения, имеющим различную степень обводнения, а также наметить меры защиты горных выработок от обводнения.

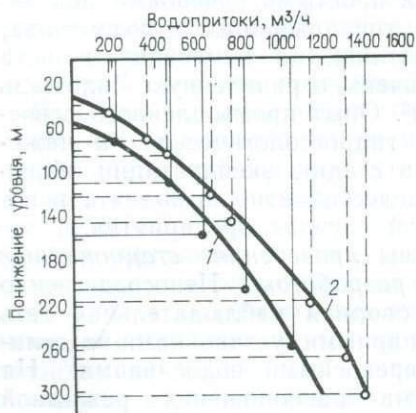


Рис. 25. Графики изменения водопритоков от понижения уровня при карьерной отработке Западного (1) и Дальнезападного (2) месторождений

Единообразную частоту замеров расходов водопритоков рудничных вод по опорной сети рекомендовать очень сложно, при этом следует учитывать особенности гидрогеологических условий раздельно по каждому объекту источника обводнения горных выработок, их режим и т. д. Как показывает практика, для анализа по опорным пунктам частота наблюдений может быть принята 1 раз в 10—15 дней. Отбор проб рудничных вод для производства их химических анализов и оценки бактериально-санитарного состояния можно проводить 1—2 раза в квартал.

Анализ гидрогеологических данных многолетнего изучения ре-

жима рудничных вод позволяет установить закономерность в зависимости общих водопритоков по отдельным горизонтам от глубины отработки месторождения, с которой связано постепенное снижение уровней подземных вод. Такая зависимость, например, была установлена для рудных объектов, представленных на рис. 25, 26, для условий карьерной и шахтной отработки месторождений. Данные эти могут быть использованы для прогнозной оценки общих водопритоков на более глубокие проектируемые к отработке горизонты путем графоаналитической экстраполяции (прогнозная оценка водопритоков гидравлическим методом).

Большое значение для оценки безопасных условий отработки рудных месторождений имеют стационарные наблюдения за режимом остаточных (законсервированных) напоров подземных вод над отметками рабочих и подготовительных горизонтов. Остаточные напоры чаще всего формируются при осушении карбонатных рудовмещающих пород за счет фильтрационной их неоднородности. Внезапные прорывы подземных вод в горные выработки, происходящие под влиянием избыточных напоров, часто приводят к аварийной ситуации на предприятии: к резкому увеличению водопритоков, затоплению отдельных горизонтов на шахте и т. д. Предупреждение внезапных прорывов подземных вод является одной из основных задач гидрогеологической службы предприятия, особенно при эксплуатации рудных месторождений, находящихся в сложных гидрогеологических условиях (третьей и четвертой групп). Режимные наблюдения в этом направлении должны быть организованы на скважинах, пройденных непосредственно в подземных горных выработках, оборудованных чувствительными манометрами, а также на скважинах, пробуренных на поверхности вдоль основных трасс подземных горных работ. Напомним, что согласно действующим инструкциям и указаниям Комитета по госгортехнадзору СССР остаточные напоры подземных вод над горными работами не должны превышать $3 \cdot 10^5$ — $4 \cdot 10^5$ Па. Принцип размещения специальных наблюдательных скважин для документации остаточных напоров подземных вод должен обосновываться в каждом конкретном случае в зависимости от степени обводненности объекта, фильтрационной неоднородности водовмещающих пород, системы отработки месторождения и т. д.

Существенное значение имеют исследования по изучению режима химического и санитарно-бактериологического составов рудничных вод. Наиболее интенсивное воздействие на изменение химического состава рудничных вод оказывают процессы окисления сульфидной минерализации пирита, марказита, арсенопирита и др., содержащихся непосредственно в рудных телах, а также во вмещающих породах в форме рассеянной рудной минерализации и в виде отдельной вкрапленности. Необходимо установить степень агрессивности рудничных вод на бетон и металлические конструкции. В практике промышленной отработки некоторых рудных месторождений СССР известны примеры весьма

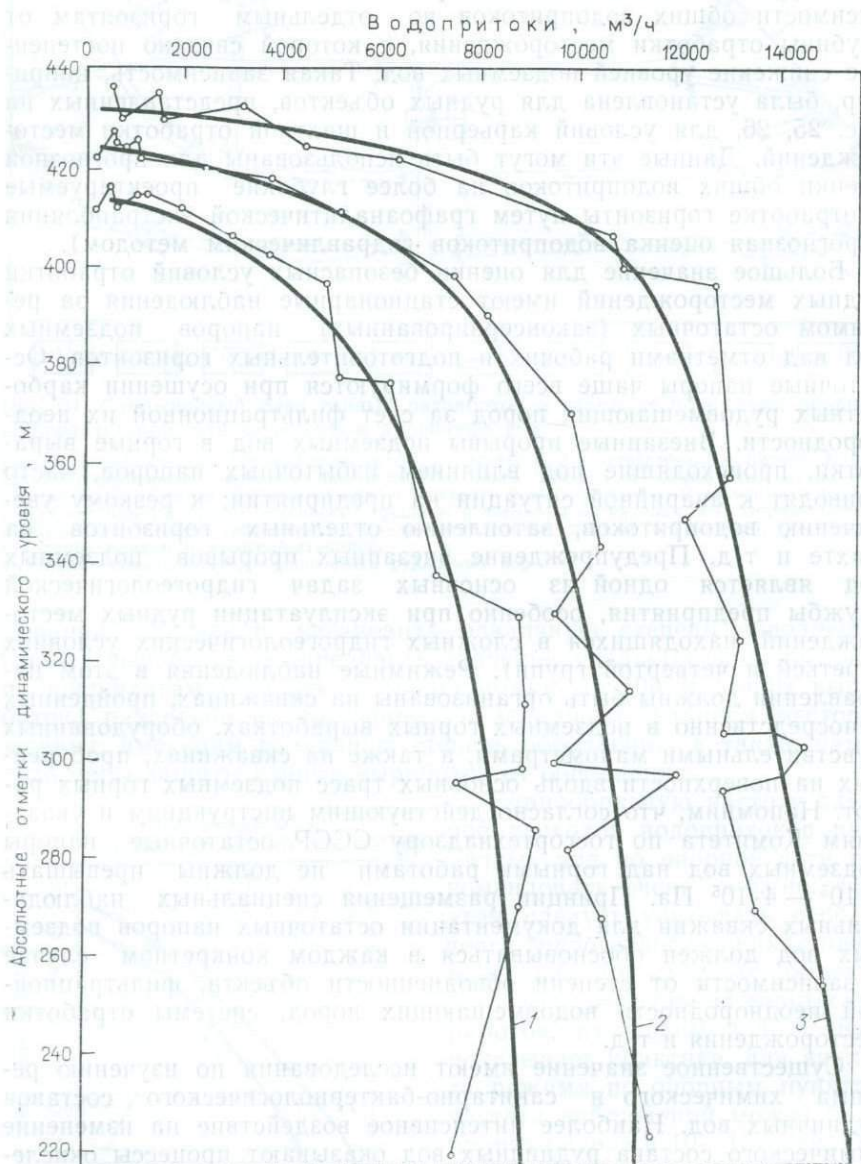


Рис. 26. Графики зависимости суммарных водопритоков от понижения уровня подземных вод при шахтной отработке месторождения.

Усредненные значения водопритоков: 1 — минимальные; 2 — средние; 3 — максимальные

агрессивного воздействия рудничных вод на насосное оборудование водопонижающих скважин, что приводит к частому выходу его из строя и к нарушению бесперебойной работы осушительных устройств.

Стационарное изучение режима водопритоков в горные выработки необходимо сопровождать систематическими наблюдениями за работой всех действующих на предприятии насосных станций, отмечая при этом их фактическую производительность, соответствие общей производительности всех насосных станций рудника с прогнозной оценкой возможного увеличения водопритоков как по отдельным горизонтам, так и по шахтному полю в целом и т. д. Такие исследования целесообразно проводить совместно со службой главного механика предприятия. Совместные исследования в этом направлении должны служить основой для улучшения и дальнейшей реконструкции общей схемы рудного водоотлива, с тем чтобы обеспечить бесперебойное действие всех осушительных устройств на руднике.

Одновременно со стационарным изучением гидрогеологических условий на всех горизонтах рудника должны быть организованы инженерно-геологические наблюдения. В практике горнорудного строительства наиболее часто встречаются проявления следующих геодинамических процессов: а) набухание, текучесть и пучение в горных выработках глинистых и глиноподобных пород; б) обрушение кровли горных выработок при проходке обводненных зон дробления тектонических нарушений или зон интенсивной трещиноватости; в) внезапные прорывы со стороны выработанного пространства накопившейся пульпообразной горной массы на рабочие горизонты при эксплуатации рудных месторождений, приуроченных к метаморфическим эффузивным глинистым породам; г) горные удары и другие процессы.

При изучении общих условий деформации горных пород на месторождении следует учитывать, что под влиянием подземных горных разработок на объекте всегда формируется зона сдвижения и нередко обрушения горных пород в массиве. Эти зоны техногенной деформации постепенно распространяются вначале в вышележащих породах над очистными горными выработками и далее очень часто развиваются и четко прослеживаются на поверхности в форме уступообразных провалов, воронок, развития открытых трещин и др. С целью изучения этих форм совместно с маркшейдерской службой предприятия на базе детальных съемочных работ целесообразно организовать стационарные режимные наблюдения за развитием техногенных процессов. Опыт показывает, что процессы эти развиваются очень медленно, длительное время (даже после консервации объекта) и нередко наносят ущерб ландшафтным условиям окружающей среды. С целью стационарного изучения инженерно-геологических процессов на предприятии обычно создается система наблюдательных геодезических реперов, располагающихся по магистральным профилям,

охватывающим зоны сдвижения и обрушения горных пород, а также примыкающие «целинные» участки.

Ранее отмечалось, что в процессе эксплуатации некоторых рудных месторождений была выявлена природная их газоносность. Это обстоятельство несколько осложняет промышленную отработку объектов. При газоносности требуется принятие дополнительных мер по безопасному ведению горных работ. Рассмотренные выше примеры газоносности не исчерпывают всех рудных объектов, на которых могут быть обнаружены природные газы. В связи с этим целесообразно в процессе проведения промышленной разведки глубоких рудных горизонтов на действующих предприятиях систематически проводить опробования в разведочных буровых скважинах на содержание в подземных водах природных газов.

Неотъемлемой частью большого комплекса стационарных режимных наблюдений является изучение режима подземных вод непосредственно по скважинам, пробуренным с поверхности. Такие исследования должны выполняться синхронно по единой методике на всех наблюдательных пунктах системы опорной сети, наблюдательных буровых скважинах и водомерных постах, установленных в подземных горных выработках на водотоках рек или родниках. На рис. 27 приведены примерные схемы размещения на поверхности опорной и вспомогательной сети на рудном месторождении, отнесенном по своим природным условиям ко второй группе (см. табл. 5). На этом объекте распространены три типа подземных вод; грунтовые воды аллювиальных песчано-галечниковых отложений и песчано-глинистых делювиально-пролювиальных образований, а также трещинно-грунтовые воды рудовмещающих пород палеозойского возраста. Уровни всех типов подземных вод устанавливаются на одной отметке, что указывает на их гидравлическую связь; в естественных условиях подземные воды дренируются местной мелкой речной сетью. Породы подрудной толщи являются неводоносными. Такие гидрогеологические условия четко определяют источники обводнения месторождения — подземные и поверхностные воды.

Организацию наблюдательной сети с целью комплексного изучения режима подземных, поверхностных вод и техногенных процессов в таких гидрогеологических условиях целесообразно выполнять в следующей последовательности. Непосредственно на поверхности необходимо оборудовать опорную наблюдательную сеть, в состав которой следует включить некоторые ранее пробуренные скважины в стадию разведки месторождения (по принципу преемственности), затем оборудовать дополнительные наблюдательные пункты — буровые скважины — раздельно на грунтовые и трещинно-грунтовые воды, а также гидрометрические посты на реках (с учетом гидродинамического, горнотехнологического и гидрологического принципов). Затем могут быть оборудованы и наблюдательные пункты по вспомогательной сети. Расположение наблюдений сети по такой схеме позволит изу-

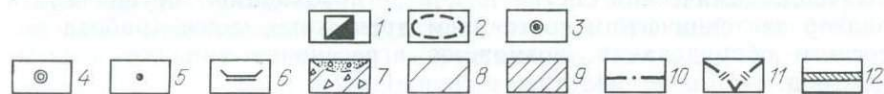
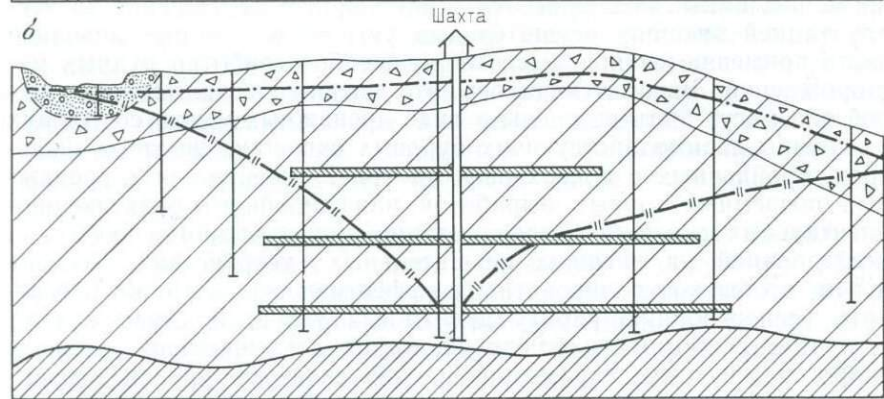
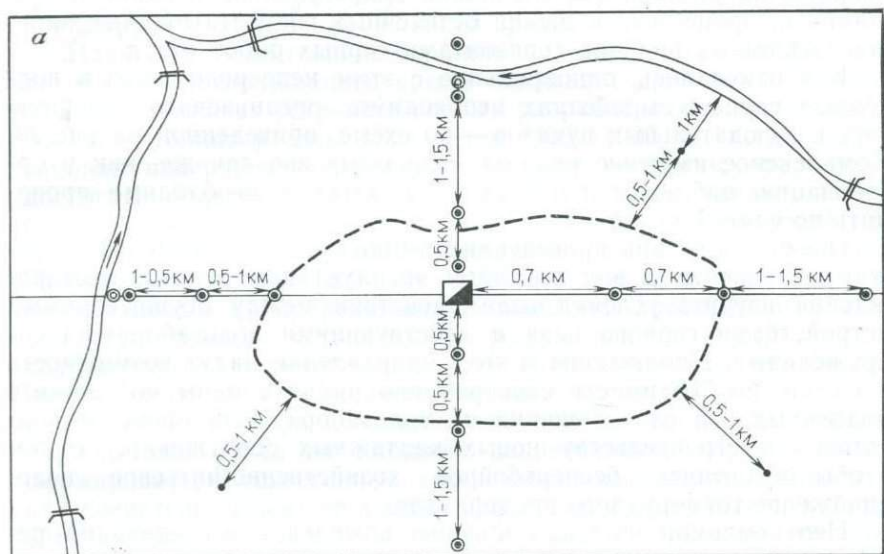


Рис. 27. Схема размещения наблюдательных постов (а) и гидрогеологический разрез (б) по линии I—I.

1 — шахта; 2 — контур горных разработок; 3—4 — наблюдательные скважины опорной сети: 3 — на подземные воды в рудовмещающих породах, 4 — на подземные воды в четвертичных отложениях; 5 — наблюдательные скважины вспомогательной сети; 6 — гидрометрические посты на реках; 7 — четвертичные образования; 8 — рудовмещающие породы; 9 — породы подрудной толщи (неводоносные); 10 — уровень подземных вод; 11 — депрессионная воронка; 12 — подземные горные выработки

чить степень влияния поверхностных вод на обводнение горных разработок, условия формирования депрессионной воронки и техногенных процессов, значения остаточных гидростатических напоров подземных вод над горизонтами горных работ и т. д.

Как отмечалось, одновременно с этим непосредственно в подземных горных выработках необходимо организовать опорную сеть наблюдательных пунктов — по схеме, приведенной на рис. 24. Комплексное изучение режима подземных вод так же, как и организацию наблюдательной сети на объекте, необходимо проводить по единой методике.

Очень важно при проведении стационарных наблюдений за режимом подземных вод в стадии эксплуатации рудных месторождений изучить условия взаимодействия между осушительными устройствами горного цеха и действующими водозаборными сооружениями. Наблюдения в этом направлении дадут возможность в случае необходимости своевременно принять меры по защите подземных вод от истощения на водозаборах или провести подготовку к строительству новых каптажных сооружений, с тем чтобы обеспечить бесперебойное хозяйственно-питьевое водоснабжение горнорудного предприятия.

Неотъемлемой частью большого комплекса исследований режима подземных вод являются стационарные наблюдения за эксплуатацией внешних осушительных устройств, которые довольно часто применяются при подземном способе отработки рудных месторождений. Выше отмечалось, что внешние осушительные устройства могут быть устроены в виде дренажных узлов, состоящих из группы взаимодействующих буровых скважин, сквозных фильтров, пройденных с поверхности на трассу специальных дренажных подземных горных выработок или линейного ряда водопонижительных скважин. Задача стационарных гидрогеологических исследований на внешних осушительных устройствах состоит в том, чтобы контролировать их эффективность, а также обеспечить бесперебойную работу дренажных узлов. В связи с этим в составе режимных наблюдений, кроме документации основных гидрогеологических параметров (дебит скважин, уровни подземных вод, химический состав и т. д.), необходимо осуществлять надзор за техническим состоянием дренажных узлов (работа насосного оборудования, возможное агрессивное влияние подземных вод, состояние фильтров в скважинах и т. д.).

Схема расположения наблюдательной сети на участке внешних осушительных устройств может быть аналогичной схеме, применяемой на водозаборных сооружениях. Таким образом, данные комплексных исследований режима рудничных и подземных вод (с поверхности и в подземных горных выработках) на каждом конкретном объекте должны обеспечить полноценный гидрогеологический контроль за промышленной обработкой месторождения, обосновать в случае необходимости оперативные дополнительные меры защиты горных разработок от обводнения, оценить негативное воздействие техногенных процессов. Все это

в конечном счете должно решить основную проблему — обеспечить безопасную отработку объекта, высокую производительность труда и охрану окружающей среды.

Наиболее существенное влияние на изменения свойств геологической и окружающей среды оказывает дренирующее действие осушительных устройств горных разработок, особенно при освоении глубоких рудных горизонтов (800—1000 м), когда депрессионная поверхность сниженных уровней подземных вод может достигать большой площади (более нескольких тысяч, иногда более нескольких десятков тысяч квадратных километров). Задача исследований в этом направлении состоит в прогнозной оценке возможности развития районной депрессионной воронки, своевременном предупреждении последствий дренирующего влияния осушительных установок на режим родников, действующих водозаборных скважин, а также принятии защитных мер по снижению негативного влияния техногенных процессов.

Помимо дренирующего влияния, при осушении водоносных карбонатных пород на площади депрессионной воронки могут формироваться техногенные суффозионно-карстовые процессы и, как следствие, может произойти деформация поверхности в форме образования провальных воронок, а при значительном осушении рыхлых водоносных пород часто формируются техногенные процессы вторичной их консолидации. Вследствие проявления этих процессов происходит уплотнение породы, проседание поверхности и деформация подземных коммуникаций. Например, на одном рудном месторождении под влиянием процессов вторичной консолидации были почти полностью деформированы сквозные фильтры, заложенные в 120-метровой толще водоносных песчано-галечниковых отложений.

Наиболее интенсивно при эксплуатации объекта проявляются техногенные процессы в зонах сдвига и обрушения горных пород на площади горных разработок: образование на поверхности провальных воронок, открытых трещин, разрывов, проседания поверхности с нарушением плотности и т. д. Практика показывает, что эти процессы проявляются даже в том случае, если на месторождении применяется система закладки выработанного пространства в очистных забоях. По всей вероятности, обеспечить стопроцентную эффективность закладки практически невозможно. Относительно простым и объективным методом прогнозной оценки геодинамических техногенных процессов в зоне обрушения и на прилегающих участках является метод натурно-экспериментальных исследований, основанный на постановке в горных выработках и на поверхности стационарных маркшейдерско-геодезических техногенных наблюдений. С этой целью необходимо организовать опорную сеть различных видов геодезических реперов наблюдательной станции. Инструментальное исследование целесообразно проводить совместно с гидрогеологической и маркшейдерской службами предприятия. Как показывает практика, размещение опорных геодезических пунктов наблюда-

тельных станций целесообразно производить по системе магистральных профилей, которыми обычно охватываются непосредственно зона сдвижения горных пород и прилегающие участки, где горные породы не затронуты деформацией. Приемы инструментальных наблюдений по опорной сети геодезических профилей достаточно подробно изложены в методических руководствах и инструкциях.

Что касается других техногенных геодинамических процессов, проявляющихся непосредственно в подземных горных выработках, то их изучение рекомендуется выполнять методом крупномасштабного картирования (документации) очагов деформации и неустойчивости горных пород. Такое картирование целесообразно выполнять на готовой геологической основе. С учетом общих геологоструктурных и горнотехнических условий изучаемого объекта детальное документирование позволяет выявить причины формирования процессов и наметить меры защиты горных выработок от их деформации.

Как показывает опыт эксплуатации рудных месторождений СССР, на некоторых объектах в горных выработках проявляются такие техногенные процессы, как горные удары. Для изучения и локального прогнозирования горных ударов при разработке рудных месторождений разработана специальная аппаратура и методика, позволяющие регистрировать основные параметры и поисковые признаки удароопасности горных пород непосредственно в горных выработках (приборы БП-18 и МГД). Главным показателем удароопасности является коэффициент хрупкости горных пород, который определяется по исходной информации исследований, проведенных в процессе натурального изучения процесса. При значении коэффициента хрупкости пород более пяти участок обследования горных выработок считается удароопасным. Хорошие результаты прогнозирования горных ударов может дать микросейсмическое районирование отдельных горизонтов, основанное на детальном картировании динамических импульсов в горных выработках и выделении по аномальным их значениям удароопасных зон или участков.

Необходимо подчеркнуть особенности постановки исследований в сложных гидрогеологических условиях рудных месторождений четвертой группы (см. табл. 5). Сложность промышленной отработки этой группы месторождений состоит в том, что в разрезе горных пород надрудной толщи и в рудовмещающих породах распространено несколько этажно расположенных водоносных горизонтов. Именно поэтому при освоении рудных объектов всегда приходится применять предварительное, а затем постоянное эксплуатационное осушение горных разработок. Одновременно с этим пресные подземные воды некоторых горизонтов в районе КМА интенсивно используются для целей централизованного водоснабжения городов и сельскохозяйственных объектов. Эти особенности дополняют ранее изложенные принципы размещения опорной наблюдательной сети для комплексного изучения ре-

жима подземных и поверхностных вод. Обязательным является, например, ярусное расположение наблюдательных скважин по разрезу водоносного комплекса. Такое расположение наблюдательных скважин позволит изучить условия взаимодействия между водоносными горизонтами, влияние осушения горных разработок на их режим, оценить источники обводнения месторождения и т. д.

Изучение режима подземных вод и техногенных процессов при карьерной обработке рудных месторождений

Комплексное изучение режима подземных вод и техногенных процессов в стадию обработки рудных месторождений карьерным способом имеет свои особенности и более разнообразный характер. В связи с этим целесообразно рассмотреть содержание стационарных исследований применительно к каждой ранее выделенной группе рудных месторождений по степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий (см. табл. 5). Состав и содержание комплексных исследований при эксплуатации рудных месторождений первой группы четко определяется несложным строением геологической среды и простыми условиями промышленной обработки. Геолого-гидрогеологическая обстановка рудных месторождений описываемой группы является весьма благоприятной для осушения карьеров с помощью системы открытого внутрикарьерного дренажа, обеспечивающего безопасные условия промышленной обработки объектов (горные породы на месторождении обладают, как правило, высокой степенью дренированности и устойчивостью бортов карьеров и не изменяют своих свойств при осушении). Опыт эксплуатации большей части рудных месторождений в СССР, отнесенных к первой группе, полностью подтверждает высокую эффективность открытого дренажа. В этих условиях комплексные исследования в стадию эксплуатации карьера целесообразно проводить в следующих основных направлениях: 1) систематическое (плановое) изучение условий обводненности рудовмещающих пород и рудных залежей, а также техногенных процессов, включая гидрогеологическую и инженерно-геологическую документацию по уступам и бортам карьера; 2) стационарное изучение режима общих водопритоков в карьер; 3) стационарное изучение химического состава рудничных вод и влияние их сброса на окружающую среду [2, 23, 34].

Исследования по первому направлению необходимо проводить на готовой геологической основе путем систематической гидрогеологической и инженерно-геологической документации и составления соответствующих планов по всем уступам карьера. Такие исследования чаще всего выполняются совместно и одновременно с геологической службой предприятия. Для документации общих водопритоков в приемном зумпфе карьера должна быть оборудо-

вана измерительная аппаратура (счетчики-водомеры и др.), что позволяет получать непрерывную информацию.

Для изучения условий формирования депрессионной воронки в плане и оценки дренирующего влияния при осушении карьера на окружающую среду необходимо максимально использовать в качестве опорных наблюдательных пунктов ранее пробуренные (в стадии разведки месторождения) разведочные скважины. Бурение специальных наблюдательных скважин на площади развития депрессионной воронки для первой группы месторождений не целесообразно. Опыт показывает, что депрессионная воронка при осушении карьерного поля на месторождении первой группы чаще всего развивается на небольшой площади — до 1,5—2 км²; при этом слабо развиваются техногенные процессы. Изучение химического состава рудничных вод обычно производится методом отбора проб и выполнения лабораторных исследований. Для простых гидрогеологических условий можно отбирать пробы воды примерно 1—2 раза в квартал.

Несколько усложняются проведения комплексных исследований при эксплуатации карьеров на рудных объектах, расположенных ниже местного базиса эрозии, когда отмечается гидравлическая связь подземных и поверхностных вод. В этих условиях необходимо оборудовать гидрометрические наблюдательные посты в речной долине с целью оценки степени влияния поверхностных вод на обводнение месторождения и в случае необходимости осуществить разработку мер защиты карьера от поверхностных вод. На рис. 28 приведена примерная схема расположения опорных наблюдательных постов на одном из рудных месторождений. Месторождение это приурочено к интрузивным породам и характеризуется невысокой степенью водообильности. Для стационарных наблюдений за режимом подземных вод на объекте были использованы скважины, пробуренные в стадию разведки месторождения. Принятые расположения гидрометрических постов непосредственно в долине примыкающей реки (посты № 1 и № 2) позволяют оценить степень инфильтрационных потерь поверхностных вод, формирующихся под дренирующим влиянием карьерного водоотлива. В стадию отработки месторождения — до глубины примерно 120 м, когда не было влияния поверхностных вод на обводнение, общие водопритоки в карьер достигали в среднем 50—60 м³/ч. При углублении карьера ниже местного базиса эрозии было зафиксировано влияние поверхностных вод реки и водопритоки в карьере возросли до 150—200 м³/ч. Если при дальнейшем углублении карьера общие водопритоки в карьер будут возрастать, появится необходимость изолировать в непроницаемый поток поверхностные воды реки в зоне влияния открытых разработок. Частота наблюдений за режимом поверхностных и подземных вод на данном объекте была принята 1 раз в 10 дней.

Комплексные исследования в стадию эксплуатации месторождений второй группы определяются особенностями их природной обстановки. Геологическая среда на месторождении характеризу-

нию рудных залежей. Чаще всего применяется осушение с помощью подземных дренажных горных выработок, пройденных под карьером. Все это в совокупности определяет состав и содержание комплексного изучения режима подземных и поверхностных вод, а также изучения техногенных процессов при длительной эксплуатации открытым способом второй группы рудных месторождений. В программу комплексных исследований прежде всего должен быть полностью включен перечень работ, изложенный выше — при изучении первой группы рудных месторождений.

Кроме этого, в программу исследований целесообразно включить следующие разделы.

1. Стационарные наблюдения за режимом подземных вод в системах внекарьерных дренажных устройств. В состав этих стационарных исследований должны входить: систематические замеры дебитов дренажных устройств, общих суммарных водопритоков по всей системе в целом, а также отдельно по флангам дренажных горных выработок и сквозных фильтров, а при внешних системах скважинного дренажа — по всем буровым выработкам; замеры уровней подземных вод по опорной сети наблюдательных скважин, а также отбор проб воды для производства химических анализов. Рекомендуемая частота замеров дебитов и уровней — 1 раз в декаду; отбор проб воды для химического анализа можно производить 1 раз в квартал, в сложных гидрогеохимических условиях — 1 раз в месяц.

Общие и отдельные притоки рудничных вод в дренажные устройства могут быть определены с помощью стационарных или переносных водосливов; для регистрации дебита отдельных сквозных фильтров последние на выпускной части должны быть оборудованы специальными отводами с задвижкой Лудло, а их отдельный дебит при этом оборудовании можно определять объемным способом.

2. Периодическое обследование горнотехнического состояния дренажных устройств (подземных дренажных горных выработок, сквозных фильтров и насосного оборудования) с целью контроля за их состоянием. В процессе обследования необходимо изучить горнотехническое состояние подземных дренажных выработок (в первую очередь оценить устойчивость пород в выработках и их крепление), техническое состояние сквозных фильтров (установить, например, причины падения их дебитов и т. д.) и насосных агрегатов дренажных устройств.

Стационарные наблюдения за режимом подземных вод в системе дренажных устройств и в сфере влияния их на поверхности должны быть подчинены решению главной задачи — оценить эффективность осушения карьерного поля в целом или его наиболее сложных частей, обосновать оперативные меры по дополнительному дренажу или интенсификации действующих устройств. Это очень важно для обеспечения опережающего осушения карьера, рудных залежей и бе-

зопасных условий промышленной обработки месторождения. Под эффективностью осушения карьера или шахтного поля следует понимать такие техногенные гидрогеологические условия, при которых заданный режим осушения горных разработок и рудных залежей (главным образом понижение уровня подземных вод) полностью обеспечивает безопасную обстановку ведения горнодобывающих и горнопроходческих работ и их высокую производительность. Если эти условия при эксплуатации осушительных устройств не выполняются, это значит система осушения по той или иной причине работает не эффективно.

Можно привести в этом отношении положительные примеры из практики освоения медных месторождений Урала, КМА и других районов, обрабатываемых открытым способом. Системой подземного опережающего дренажа на объектах производится осушение не только рудовмещающих пород, но и рудных залежей, что очень важно для успешной выемки руды в зимних условиях. На предприятиях создана режимная сеть, систематически проводилось комплексное обследование всей системы осушения — в дренажных горных выработках, в сквозных фильтрах, а также обследование хорошо организованных систем отвода дождевых вод и т. д. Своевременное проведение на месторождениях систематического гидрогеологического надзора за работой дренажных устройств позволило обеспечить высокую эффективность дренажа и высокую производительность труда на карьере.

3. Стационарные наблюдения за режимом подземных вод на площади дренирующего влияния осушительных устройств карьера (на площади возможного развития депрессионной воронки). Систематические исследования в этом направлении должны производиться по опорной сети наблюдательных скважин. Количество наблюдательных скважин для этой цели на объектах второй группы может быть ограниченным, поскольку депрессионная воронка распространяется на небольшой площади.

На рис. 29 приведена примерная схема организации опорной режимной сети на объекте, обрабатываемом открытым способом. Это месторождение расположено вблизи реки. В его геологическом строении участвуют рудовмещающие слабоводоносные метаморфические эффузивные породы, которые в восточной части перекрываются сравнительно мощной толщей водоносных рыхлых аллювиальных образований (до 40—30 м). Осушение карьера выполняется комбинированным способом: за счет внешнего линейного ряда водопонизительных скважин, оборудованных вдоль левого берега реки, а также под влиянием внутрикарьерного водоотлива.

Основная наблюдательная сеть была организована на базе использования ранее пробуренных геологоразведочных скважин, что позволяет сохранить принцип преемственности при изучении нарушенного режима подземных вод. Кроме того, для раздельного изучения режима подземных вод в рыхлых аллювиальных образованиях и изучения влияния осушения на окружающую среду были

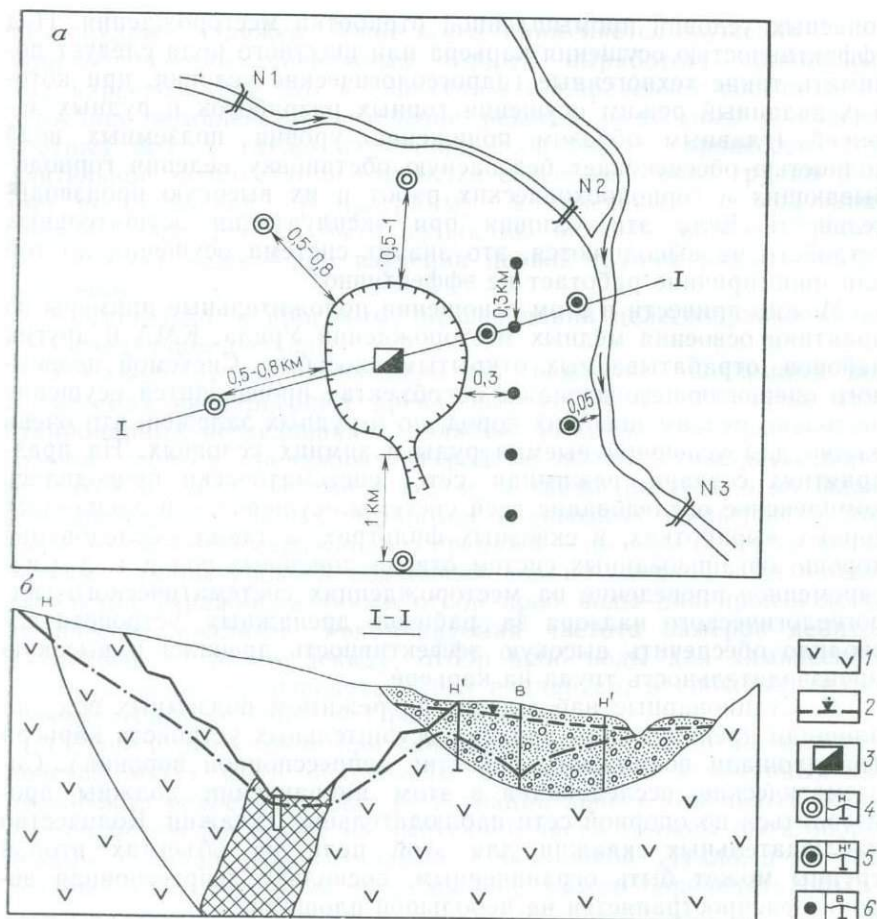


Рис. 29. Схема расположения опорных наблюдательных постов при карьерной отработке месторождения.

1 — рудовмещающие эффузивные породы; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — опережающая насосная станция; 4—5 — наблюдательные скважины опорной сети, пройденные: 4 — в рудовмещающих породах, 5 — в аллювиальных отложениях; 6 — водопонизительные скважины. Остальные условные обозначения см. на рис. 33

пробурены специальные скважины, на левом небольшом притоке реки были оборудованы два наблюдательных гидрометрических поста с целью изучения режима поверхностных вод и оценки влияния речных вод на обводнение карьера. Такое расположение опорной наблюдательной сети, а также систематические наблюдения за работой дренажной линии водопонизительных скважин и внутрикарьерным водоотливом позволяют всесторонне оценить источники обводнения, эффективность действия защитных мер от обводнения, а в целом обеспечить безопасные условия промышленной отработки месторождения. Частота замеров уровней под-

земных вод, дебитов водопонижительных скважин, суммарных водопритоков в карьер, расходов поверхностных вод по опорной сети на предприятии была принята следующая: 1 раз в 10 дней, а в паводковое время — примерно 1 раз в 5 дней.

Стационарные наблюдения непосредственно внутри карьера должны входить в общий комплекс изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий в стадии промышленной отработки месторождения открытым способом. Исследования эти необходимо выполнять в следующих направлениях: 1) документация и режимные наблюдения за остаточными напорами подземных вод по уступам и бортам карьера, а также за водопритоками в карьер; 2) систематические наблюдения за состоянием дренажной и отводной сети дождевых и талых вод, которая обычно устраивается на поверхности вокруг карьера; 3) режимные наблюдения за состоянием дренажных устройств, расположенных непосредственно по уступам и бортам карьера, построенных с целью обеспечения их устойчивости от обрушения и оползания. На участках, где могут возникнуть оползневые процессы, по бортам карьера целесообразно организовать инструментальные наблюдения по геодезическим реперам. Для этого должна быть организована геодезическая станция. Такие инструментальные исследования обычно проводятся совместно с маркшейдерской службой предприятия. Для прогнозной оценки деформационных техногенных процессов на бортах карьера в практике работ геологической службой предприятий Урала и КМА применяется рациональный комплекс геофизических методов: геоэлектрические, звукометрические и микросейсмические исследования.

Геоэлектрическим признаком для оценки возможного развития оползневых процессов по уступам карьера является увеличение электрического сопротивления массива горных пород, выявленного при многократном электропрофилировании участка обследования. Продолжительность каждого цикла геофизических исследований по выбранному профилю составляет примерно 3—5 ч. Результаты электропрофилирования, оформленные в виде графиков изменения значений электрического сопротивления пород во времени, позволяют оценить степень устойчивости горных пород по бортам карьера. Если изменение электросопротивления пород не обнаруживается, то это признак хорошей устойчивости пород в уступах карьера. Повышение значений электросопротивления пород, отмеченное в течение нескольких дней, свидетельствует об образовании в глубине породного массива трещин и микротрещин. Это дает основание прогнозировать возможное развитие геодинамических процессов. Если в процессе электропрофилирования удалось выявить зону интенсивно увлажненных пород, то можно предполагать формирование в толще пород поверхности скольжения.

Накоплен опыт прогнозной оценки устойчивости бортов карьера с помощью звукометрических исследований в скважинах. Было выявлено, что в горных породах, слагающих борт карьера, под влиянием напряженного состояния, а также структурных осо-

бенностей (наличие дефектов в строении бортов) возникают звуковые импульсы. Исследования проводятся с помощью специальной аппаратуры. Было установлено, что, если при наблюдениях в массиве горных пород фиксируется увеличение звуковых импульсов выше фоновых значений, то это является признаком начала процессов их деформации. Применение звукометрического метода требует организации опорной сети наблюдательных скважин на ослабленных участках бортов карьера.

Изучение режима подземных вод на рудных месторождениях третьей группы в стадию карьерной их отработки имеет некоторые особенности. Последние четко определяются геолого-гидрогеологическими условиями. Рудовмещающая толща, как отмечалось, представлена на объектах хорошо устойчивыми в горных выработках карбонатными породами, перекрытыми с поверхности водоносными песчано-глинистыми образованиями мощностью в среднем 10—30 м и иногда более. В карбонатных породах обычно формируется бассейн трещинно-карстовых вод, в которых подземные воды, как правило, имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами рек. Водоносные карбонатные породы в фильтрационном отношении обладают высокой неоднородностью и по отдельным зонам хорошей проводимостью. В настоящее время открытым способом обрабатываются несколько рудных месторождений на Урале, в Казахстане и Сибири. Учитывая высокую степень водообильности карбонатных пород, месторождения обычно обрабатываются под защитой внешних дренажных устройств в виде кольцевой системы водопонижающих скважин, обеспечивающей опережающее осушение карьера и, следовательно, безопасные условия его отработки.

Комплекс исследований режима подземных вод и техногенных процессов на объектах третьей группы включает следующие основные задачи: а) изучение условий осушения карьера (эффективности осушения), формирования по площади районной депрессионной воронки, в том числе изучение режима работы внешних осушительных устройств, используемых как водозаборное сооружение по схеме «осушение—водоснабжение», а также техногенных процессов (главным образом суффозионно-карстовых процессов); б) изучение и оценка условий взаимосвязи трещинно-карстовых и поверхностных вод; в) обеспечение устойчивости бортов карьера в рыхлых покровных образованиях; г) изучение химического состава трещинно-карстовых вод, их агрессивности и при высокой степени минерализации — изучение условий их изоляции в связи с охраной окружающей среды.

Для решения перечисленных задач на месторождении, как и в предыдущем случае, должна быть организована опорная сеть наблюдательных пунктов — буровых гидрогеологических скважин, и, в случае необходимости — гидрометрических постов на местной речной сети и т. д. На рис. 30 в качестве примера представлена схема размещения действующей наблюдательной сети на одном из рудников Казахстана. Это месторождение приурочено к мощной

толще водоносных карбонатных пород палеозойского возраста, тектонически нарушенных в сложные складки и сбросы, с поверхности коренные породы перекрываются песчано-глинистыми породами неогена мощностью 8—12 м. Местная гидрографическая сеть на площади месторождения отсутствует. В гидрогеологическом отношении месторождение представляет собой ограниченный по площади бассейн трещинно-карстовых вод очень пестрой минерализации (от 2—3 до 25—30 г/л). В плане в виде примерно круговой схемы водоносные породы контактируют со слабопроницаемыми эффузивными породами. В покровных образованиях распространён горизонт пресных грунтовых вод, отделенный от горизонта трещинно-карстовых вод плотными глинами (мощностью 3—5 м).

В таких геолого-гидрогеологических условиях основными источниками обводнения карьера являются естественные ресурсы и естественные запасы трещинно-карстовых вод карбонатных пород. Месторождение обрабатывается открытым способом. Опорная наблюдательная сеть была создана по радиально-лучевой схеме на базе максимального использования геологоразведочных скважин, пройденных на месторождении в стадии его разведки. Были также пробурены дополнительные наблюдательные скважины вспомогательной сети для вскрытия трещинно-карстовых вод вблизи водопонижающих выработок и отдельно для вскрытия грунтовых и трещинно-карстовых вод. Стационарные наблюдения по опорной сети проводятся 1 раз в 10 дней. Наблюдения производятся за уровнями подземных вод, дебитом водопонижительных скважин, химическим составом трещинно-карстовых вод и их агрессивностью. Отбор проб воды для производства химических анализов производится один раз в 1—2 месяца. Результаты стационарных режимных наблюдений на предприятии своевременно обрабатываются в форме составления различных графиков: зависимости общих водопритоков в карьер от глубины его отработки; изменения уровня подземных вод во времени; изменения химического состава трещинно-карстовых вод от глубины отработки. Составляются также карты гидроизогипс на различное время формирования депрессионной воронки и т. д.

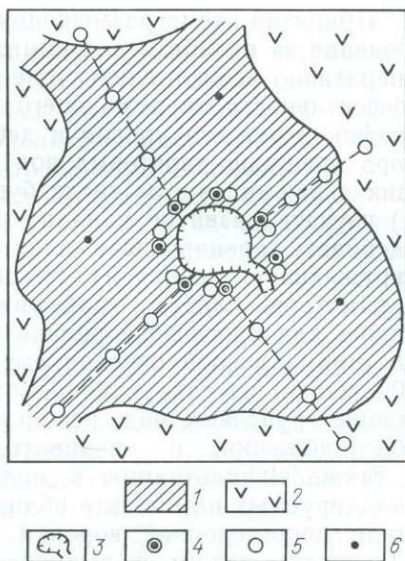


Рис. 30. Схема расположения наблюдательной сети на месторождениях третьей группы.

1 — рудовмещающие водоносные известняки; 2 — слабОВОдоносные эффузивные породы; 3 — карьер. Скважины: 4 — водопонижительные; 5 — опорной наблюдательной сети; 6 — вспомогательной наблюдательной сети

Принятая схема размещения опорной сети и стационарные наблюдения за режимом подземных вод позволили на месторождении оперативно решать следующие задачи: а) периодически оценивать эффективность опережающего осушения карьера путем анализа графиков режима уровня и дебита скважин и регулирования отбора трещинно-карстовых вод кольцевой системой водопонижающих скважин (в том числе бурение дополнительных выработок); б) изучать развитие в плане районной депрессионной воронки и оценивать дренирующее влияние водопонижающих скважин на окружающую среду; в) уточнять значения гидрогеологических параметров пласта графоаналитическим методом, что очень важно для прогнозной оценки возможных водопритоков в карьер на стадии второй очереди его строительства (на глубины 300—400 м); г) изучать влияние отбора трещинно-карстовых вод на режим грунтовых вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, и оценивать возможность их дренирования, а также инфильтрацию в водоносный горизонт рудничных вод, складываемых на объекте вблизи карьера непосредственно на площади депрессионной воронки в виде испарителей-накопителей; д) изучать режим формирования общих водопритоков в кольцевую систему водопонижающих скважин для данных гидрогеологических условий и т. д. Таким образом, удачно выбранная опорная наблюдательная сеть на объекте, а также принятая методика проведения стационарных исследований режима подземных вод позволили решить важные прикладные задачи, связанные с оперативным обеспечением безопасных условий отработки месторождения. В более сложной природной обстановке эксплуатации карьера, когда на его обводнение влияют поверхностные воды, могут возникнуть дополнительные задачи в изучении режима подземных вод; в их числе — изучение условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Рассмотрим эти условия на конкретном примере.

Рудное месторождение отрабатывается опытно-промышленным карьером с сохранением бытового уровня крупной реки (рис. 31). Рудовмещающая толща на месторождении представлена сложнослоистыми карбонатными породами палеозоя, трещинно-карстовые воды

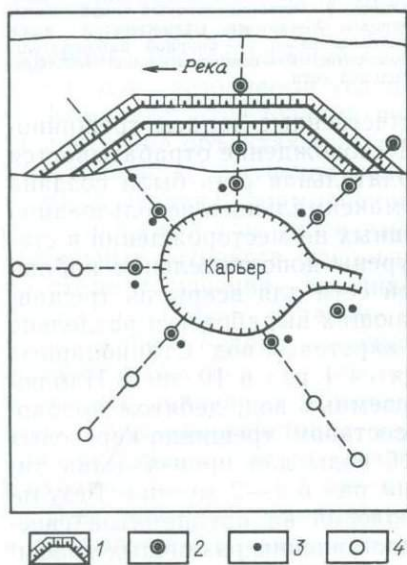


Рис. 31. Схема расположения наблюдательных постов.

1 — перекачивающая дамба. Скважины: 2 — водопонижительные; 3 — наблюдательные, вновь пробуренные; 4 — наблюдательные, пробуренные в стадию разведки

которых гидравлически связаны с поверхностными водами реки. В таких условиях основным источником обводнения карьера являются поверхностные воды реки. Защита карьера от источников обводнения осуществляется с помощью водоотводной дамбы, отесняющей поверхностные воды реки на 120—150 м от берега, а также кольцевой батареей водопонизительных скважин. Кроме того, непосредственно в карьере устроен внутрикарьерный водоотлив. Основная задача изучения режима подземных вод при данной гидрогеологической обстановке заключалась в изучении условий взаимосвязи трещинно-карстовых вод с поверхностными водами реки, оценке эффективности внешних дренажных устройств, выявлении закономерности изменения общих водопритоков в карьер с глубиной отработки месторождения, а также изучении техногенных процессов, формирующихся при осушении карьера.

Для решения этих задач на месторождении была создана по радиально-лучевой системе опорная сеть наблюдательных скважин (см. рис. 30 и 31). Для создания опорной наблюдательной сети были использованы ранее пробуренные геологоразведочные скважины (в стадию разведки объекта), а также выполнено бурение специальных собственно гидрогеологических наблюдательных скважин вблизи водопонизительных скважин (для контроля за уровнем), а также несколько скважин непосредственно в долине реки, бурение которых осуществлялось в зимнее время. Наблюдения за уровнями трещинно-карстовых вод и дебитов водопонизительных выработок проводятся на месторождении примерно 1 раз в 5 дней, в паводковое время чаще (1 раз в 3 дня). Кроме того, в процессе изучения режима подземных вод отбираются пробы воды для производства химического анализа (1 раз в 2—3 месяца). В прибрежной части долины реки удалось детально изучить условия взаимосвязи трещинно-карстовых вод рудовмещающих известняков с речными водами, а в наблюдательных скважинах вблизи кольцевой батареи водопонизительных выработок выявить фильтрационно-суффозионные техногенные процессы — интенсивный вынос тонкозернистого материала из обводненной зоны тектонических нарушений. В результате режимных наблюдений была выявлена зависимость общих водопритоков в карьер от глубины его отработки. По данным наблюдений за режимом уровня в удаленных скважинах и общего водоотбора, аналитическими расчетами были уточнены гидрогеологические параметры пласта, данные которых могут быть использованы для прогнозной оценки водопритоков при дальнейшем углублении карьера.

Изучение режима подземных вод при эксплуатации рудных месторождений четвертой группы. Эта группа месторождений характеризуется весьма сложным строением геологической среды и весьма сложными условиями промышленной их отработки (см. табл. 5). В геологическом разрезе месторождений принимают участие слабоустойчивые в горных выработках метаморфические, преимущественно терригенные породы, перекрывающиеся толщей также неустой-

чивых песчано-глинистых пород. В таком разрезе пород чаще всего распространен целый комплекс напорных водоносных горизонтов пресных и повышенной минерализации подземных вод в рудовмещающих породах и в породах надрудной толщи. При больших глубинах залегания рудных залежей (до 600—800 м) на месторождении могут быть распространены химически активные газы глубинного происхождения (углекислый газ и др.). Такие геолого-гидрогеологические условия определяют весьма сложную обстановку промышленного освоения месторождений четвертой группы. В обводнении горных выработок принимают участие естественные ресурсы и запасы подземных вод напорных горизонтов, а в случае гидравлической связи подземных вод с поверхностными — привлекаемые ресурсы.

Эксплуатация таких объектов, как показывает опыт, требует, во-первых, рационального сочетания общепринятых систем защиты горных работ от обводнения, а во-вторых, применения специальных и индивидуальных способов предварительного и затем эксплуатационного осушения горных разработок с помощью довольно сложных систем внешних дренажных устройств, а также системы дренажа, устроенного непосредственно внутри карьерного поля.

Весьма сложные условия рудных месторождений четвертой группы четко определяют следующие задачи комплексного изучения режима подземных вод: а) изучение условий формирования и режима общих притоков рудничных вод в систему горных выработок раздельно на их флангах и на участках наиболее интенсивных сосредоточенных водопритоков, и с целью оценки общих гидрогеологических закономерностей обводнения месторождения, оценки зависимости общих водопритоков от глубины отработки и т. д.; б) изучение условий распространения остаточных гидростатических напоров подземных вод водоносных горизонтов по трассам основных магистральных горных выработок и на уступах карьеров с целью предотвращения возможных внезапных прорывов, деформаций уступов в бортах карьера и др.; в) стационарное изучение режима работы внешних и внутришахтных (внутрикарьерных) дренажных устройств и их влияния на осушение водоносных горизонтов, распространенных в надрудной толще пород, с целью оценки эффективности дренажных устройств и, в случае необходимости принятия дополнительных оперативных мер защиты горных работ от обводнения; г) изучение условий формирования депрессионной воронки и оценка взаимодействия системы дренажных устройств с действующими водозаборными сооружениями; д) стационарное изучение химического состава рудничных и дренажных вод с целью оценки условий их использования для водоснабжения, орошения, бальнеологических целей, для извлечения содержащихся в них полезных компонентов, а также безвредного сброса в окружающую среду; е) изучение влияния поверхностных вод местной речной сети на обводнение горных разработок.

Перечисленные задачи, а также общие принципы, отмеченные

выше, определяют систему организации опорной и вспомогательной сети для комплексного изучения режима подземных и поверхностных вод.

При выборе схем расположения наблюдательной сети целесообразно учитывать рациональное сочетание методических приемов, изложенных выше при рассмотрении примеров, отнесенных к первой, второй и третьей группам сложности рудных месторождений. Кроме того, необходимо в каждом конкретном случае учитывать гидрогеологические особенности изучаемого объекта. Например, при изучении техногенного режима промышленной отработки железорудных месторождений КМА карьерным способом возникла необходимость ярусного расположения наблюдательных скважин по основным магистральным радиально-лучевым поперечникам применительно к распространению всех основных водоносных горизонтов. В надрудной толще горных пород железорудных месторождений КМА, как известно, распространено несколько напорных водоносных горизонтов, часть из которых используется для целей централизованного водоснабжения крупных городов и рабочих поселков. Предварительное и эксплуатационное осушение водоносных горизонтов в неустойчивых породах надрудной толщи на Лебединском, Южно-Лебединском и Михайловском карьерах привело к формированию значительной по площади региональной депрессионной воронки. В таких гидрогеологических условиях весьма важно не только обеспечить эффективность осушения объекта и тем самым создать безопасную обстановку отработки месторождения, но и своевременно оценить влияние осушения на изменение окружающей среды с точки зрения сохранения ресурсов подземных вод, а также условия взаимодействия внешних осушительных устройств с действующими в районе групповыми водозаборами, построенными для целей водоснабжения крупных городов [20].

Глава 8

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Общие положения и основные задачи исследований

Как показывает опыт, хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение горнорудных предприятий в подавляющем большинстве случаев построено на базе автономного водозаборного сооружения подземных или поверхностных вод. Водозаборы являются, таким образом, неотъемлемой частью структуры предприятия, и поэтому изучение режима подземных вод в стадию эксплуатации каптажного сооружения должно обязательно входить в общий комплекс гидрогеологических и инженерно-геологи-

ческих исследований. Комплексные исследования в этом направлении на водозаборных сооружениях следует рассматривать как основную часть эксплуатационной разведки месторождений подземных вод. Общие задачи, состав работ и методические приемы проведения гидрогеологических работ в стадию эксплуатационной разведки подземных вод достаточно подробно изложены в работе [27]. Исходя из этого, в настоящей главе рассматриваются только особенности комплексных исследований применительно к водозаборным сооружениям горнорудных предприятий.

В практике водоснабжения горнорудных предприятий можно встретить водозаборные сооружения следующих типов: 1) водозаборы, располагающиеся за пределами горных разработок предприятия, использующих разведанные запасы различных типов месторождений подземных вод (реже каптажи устроены на базе использования поверхностных вод); водозаборно-дренажные сооружения, построенные непосредственно на флангах депрессионной воронки, формирующиеся при осушении горных разработок и использующие подземные воды, обводняющие рудные месторождения (осушение горных разработок по схеме «осушение—водоснабжение»); 3) водозаборы, построенные непосредственно в системе подземных горных выработок в виде автономного каптажа, использующие для целей водоснабжения рудничные воды.

Различные типы водозаборных сооружений определяют некоторые особенности методических приемов комплексных стационарных исследований в стадию их эксплуатации, а также определяют одно из условий размещения опорной режимной наблюдательной сети.

Среди первого типа водозаборов на месторождениях наиболее широко распространены инфильтрационные водозаборы, построенные на месторождениях подземных вод речных долин. На инфильтрационных водозаборах эксплуатационные запасы, как известно, формируются преимущественно за счет привлекаемых ресурсов поверхностных вод. На базе водозаборов, расположенных на месторождениях подземных вод речных долин, осуществляется комплексное водоснабжение крупных горнорудных предприятий в Средней Азии, Казахстане, Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии и др. При эксплуатации инфильтрационных водозаборов обычно формируется ограниченная по площади депрессионная воронка — в среднем до 3—5 км². В связи с этим влияние их на изменения свойств окружающей среды незначительно.

Относительно большая площадь депрессионной воронки и, следовательно, повышенная степень влияния на изменения свойств окружающей среды формируются при эксплуатации водозаборных сооружений, расположенных в артезианских бассейнах, а также на площади месторождений трещинно-карстовых вод.

Эти особенности эксплуатации подземных вод в различных гидрогеологических условиях необходимо учитывать при размещении на водозаборах опорной наблюдательной режимной сети.

Второй тип каптажного сооружения, как следует из его названия, обычно совмещается с общей системой осушения горных разработок. По своей конструкции — это система взаимодействующих буровых скважин, расположенных обычно на флангах депрессионной воронки, формирующейся вокруг контура горных разработок. При этой совмещенной системе решаются, по существу, две задачи — обеспечивается хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение предприятия, а также происходит снижение степени обводнения горных выработок. Наиболее успешно такая проблема разрешена на некоторых месторождениях Урала. Водозаборно-дренажные узлы располагаются на объектах между основным источником обводнения месторождения — поверхностными водами крупной реки и северным флангом районной депрессионной воронки, сформировавшейся при осушении подземных горных выработок. Таким способом дренажным узлом отбираются трещинно-карстовые воды в количестве до 60—70 тыс. м³/сут, удовлетворяя полностью всю потребность в воде предприятия, и вместе с тем достигается снижение общих водопритоков в горные выработки до 30—35 %. Аналогичные водозаборно-дренажные системы хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения за счет использования подземных вод рудных месторождений организованы на Стойленском руднике и Южно-Либединском карьере железорудных месторождений КМА. На Стойленском руднике подземные воды в количестве до 18 тыс. м³/сут отбираются из системы сквозных фильтров, пройденных с поверхности на горизонт дренажного штрека и отбирающих воду из водоносных горизонтов меловых и рудно-кристаллических пород [20].

Широкое внедрение в практику горнорудных предприятий системы «осушение—водоснабжение» позволит также решить важную задачу комплексного использования на месторождении всех его полезных компонентов, в том числе подземных вод. Внедрение второго типа каптажного сооружения тем более необходимо, потому что в последнее время все чаще в промышленное освоение вовлекаются рудные месторождения с весьма сложными гидрогеологическими условиями, требующими опережающего осушения горных разработок и извлечения из недр значительного количества подземных вод.

Третий тип водозабора представляет собой автономный каптаж сосредоточенных выходов рудничных вод, устроенный непосредственно в подземных горных выработках, с подачей воды на поверхность по автономному водоводу. Этот тип водозабора целесообразно организовывать на наиболее обводненных рудных месторождениях, где все водопритоки рудничных вод принимаются непосредственно в систему подземных горных выработок (осушение месторождения производится без внешних дренажных устройств). На практике третий тип водозабора успешно осуществлен на одном из рудных месторождений в Казахстане. На этом объекте непосредственно от автономного каптажа сосредото-

ченного выхода трещинно-карстовых вод рудовмещающих карбонатных пород рудничные воды подаются для хозяйственно-питьевого водоснабжения города; кроме этого, рудничные воды используются также для отдельно устроенного производственного водоснабжения промышленных объектов (обогащительной фабрики и других нужд), а также для орошения.

В условиях автономного централизованного водоснабжения горнорудных предприятий главная задача комплексных исследований состоит в том, чтобы обеспечить рациональные условия эксплуатации подземных вод и в случае необходимости обосновать увеличение производительности водозабора, включая искусственное восполнение запасов. Для решения этой задачи исследования должны проводиться в следующих направлениях: 1) стационарное изучение основных параметров режима подземных и в случае необходимости поверхностных вод; 2) охрана подземных вод от загрязнения и истощения, а окружающей среды — от негативного влияния техногенных процессов; 3) технический надзор за работой водозаборного сооружения.

По первому направлению в состав работ должны входить гидродинамические, гидрогеохимические исследования с целью изучения режима уровней подземных вод, дебита каждой водозаборной скважины, а также производительности всего водозабора в целом; режима, температуры и качества подземных вод (химического состава и санитарного состояния, а также содержания вредных компонентов). Если водозабор расположен в речной долине и относится к инфильтрационному типу, очень важно изучить режим поверхностного стока (изменение во времени расхода реки, качество вод и влияние изменения поверхностного стока на величину эксплуатационных запасов).

Второе направление предусматривает периодическое проведение анализа опыта эксплуатации водозабора. По данным стационарных режимных наблюдений должна быть выполнена оценка возможного развития на водозаборном участке техногенных процессов — истощения и загрязнения подземных вод, а также деформации подземных коммуникаций под влиянием процессов проседания поверхности.

Качество пресных подземных вод следует оценивать по трем основным показателям — химическому, санитарно-бактериологическому составу и органолептическим свойствам. Показатели эти строго определяются ГОСТ 2874—82. При изучении качества целесообразно обращать особое внимание на возможное химическое загрязнение подземных вод промышленными отходами предприятий, нефтепродуктами, отходами сельского хозяйства, рудничными водами и др.

На многих горнорудных предприятиях при эксплуатации внешних водозаборных сооружений (первого типа) могут возникать техногенные процессы взаимодействия каптажа с действующими осушительными устройствами. С целью изучения этих процессов и контроля за его развитием необходимо вначале с помощью ана-

лиза гидрогеологических условий убедиться в возможности формирования процессов взаимодействия, а затем оборудовать участок специальной сетью наблюдательных скважин.

Из изложенного ясно, что наиболее существенное значение для оценки условий эксплуатации подземных вод на водозаборном участке имеют гидродинамические и гидрогеохимические исследования.

Исследования по третьему направлению обычно выполняются технической службой предприятия с целью своевременного надзора за техническим состоянием всего оборудования, принятия мер бесперебойной его работы, включая и аппаратуру по автоматизации стационарных режимных наблюдений, которая должна быть установлена на водозаборных и наблюдательных скважинах.

Организация наблюдательной сети и состав исследований

Для качественного проведения комплексных исследований в пределах водозаборного участка должна быть организована специальная сеть наблюдательных постов — буровых скважин, и в случае необходимости гидрометрических постов. При создании опорной и вспомогательной сети должны учитываться не только общие принципы (см. гл. 7), но также некоторые особенности условий эксплуатации водозабора, в том числе требования об организации на водозаборе зон санитарной охраны. В соответствии с Положением о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения на всех водозаборах с целью контроля, предупреждения и защиты источников водоснабжения от загрязнений должны быть организованы зоны санитарной охраны. В состав зоны санитарной охраны должно входить три пояса: I — строгого режима, II и III — контрольно-предупредительные.

Гидрогеологические и санитарные условия организации зон санитарной охраны достаточно подробно изложены в работе [33].

Приведенные выше рекомендации по организации опорной сети позволяют наметить примерно следующие схемы размещения наблюдательной сети на водозаборных участках. В пределах первого пояса зоны санитарной охраны необходимо организовать опорную сеть, которая позволила бы обеспечить достоверную информацию по режиму дебитов водозаборных скважин, динамического уровня, температуры и качества подземных вод и по режиму поверхностных вод (расход речного стока и качество поверхностных вод). На рис. 32 представлена примерная схема расположения опорной наблюдательной сети в пределах собственно водозаборного участка — первого пояса зоны санитарной охраны. Каждая водозаборная скважина должна быть оборудована трубкой-пьезометром для стационарного изучения режима динамического уровня, а также расходометрической аппаратурой для изучения дебита скважины (рис. 33). На водозаборном участке необходимо сохранить наблюдательные скважины, оборудованные в стадию

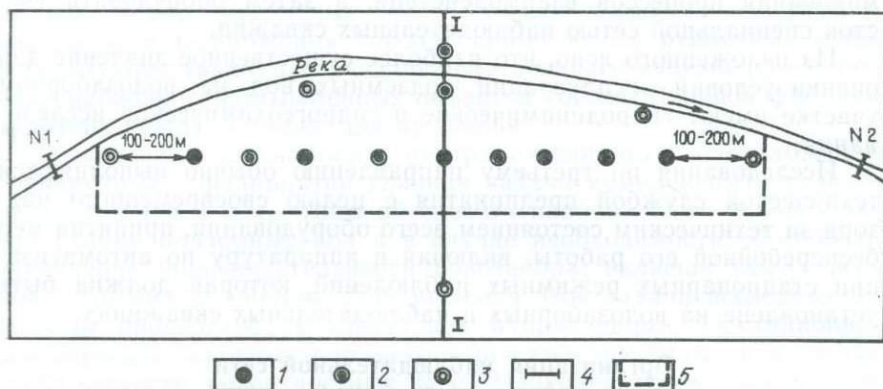


Рис. 32. Схема расположения опорной наблюдательной сети на инфильтрационном водозаборе.

1—3 — скважины: 1 — водозаборные с пьезометрическими наблюдательными трубами; 2 — наблюдательные, сохранившиеся после разведки месторождения; 3 — наблюдательные, заданные при эксплуатации водозабора; 4 — гидрометрические посты на реке; 5 — примерная граница I пояса зоны санитарной охраны; I—I — линия разреза

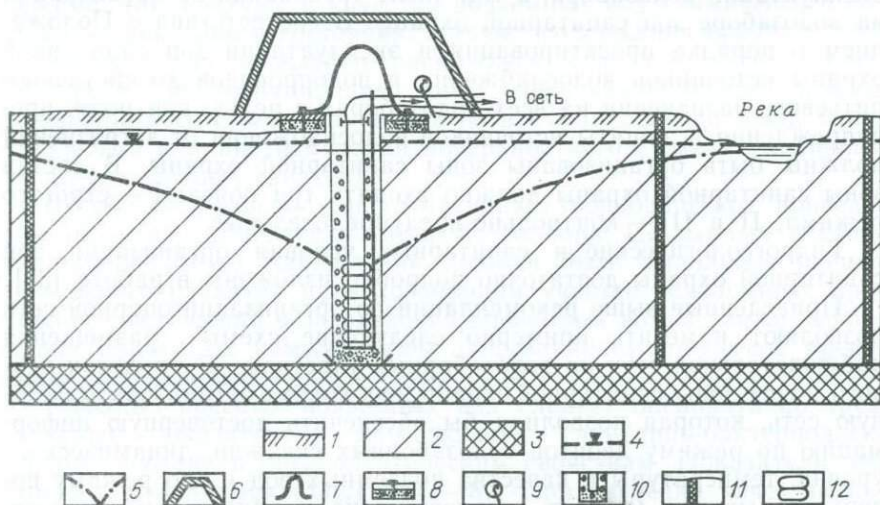


Рис. 33. Схема расположения наблюдательных скважин по линии I—I на участке инфильтрационного водозабора.

1 — почвенно-растительный слой; 2 — водоносные породы; 3 — водонепроницаемые породы; 4 — естественное залегание уровня подземных вод; 5 — депрессионная воронка; 6 — здание станции; 7 — электромотор насоса; 8 — забетонированное крепление насоса; 9 — расходомер; 10—11 — фильтры скважин: 10 — водозаборной, 11 — наблюдательной; 12 — насос. Линия разреза I—I дана на рис. 37

разведки месторождения, с тем чтобы обеспечить принцип преемственности — данных режима в естественных и нарушенных условиях. Кроме того, должны быть пробурены дополнительные наблюдательные скважины примерно по такой схеме их расположения, как показано на рис. 32. Дополнительные наблюдательные скважины должны располагаться с учетом фильтрационной неоднородности продуктивного водоносного пласта, санитарного состояния площади водозаборного участка и других факторов. Для изучения режима поверхностного стока реки целесообразно оборудовать гидрометрические посты стандартного типа.

В гидрогеологическом отношении первый пояс зоны санитарной охраны характеризуется высокой динамичностью уровня и его сравнительно быстрым изменением под влиянием ряда факторов (временная остановка насосов в скважинах, прохождение паводка в реке и т. д.). Этот пояс является зоной срочного изучения всех компонентов режима. Все наблюдательные и водозаборные скважины целесообразно оборудовать автоматической измерительной аппаратурой для обеспечения непрерывной регистрации уровня и дебита скважин. Для этой цели могут быть использованы приборы типа «Валдай» или цифропечатающие уровнемеры типа РУЦ (системы ВСЕГИНГЕО). На крупных водозаборах целесообразно с помощью автоматики централизовать регистрацию оперативных данных по режиму непосредственно в диспетчерской с помощью станций приема информации.

На рис. 34 представлена примерная схема размещения опорной наблюдательной сети в пределах площадей II и III поясов зоны санитарной охраны. Границы этих поясов на каждом конкретном объекте должны быть обоснованы гидрогеологическими расчетами [11].

Для обеспечения долговременной работы наблюдательные скважины опорной сети в устьевой части должны быть оборудованы оголовками и замковыми устройствами. Как и в преды-

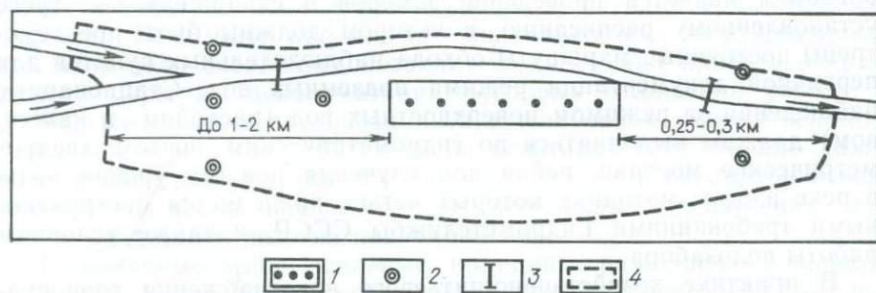


Рис. 34. Примерная схема размещения опорной наблюдательной сети на площади II и III поясов зоны санитарной охраны.

1 — водозаборный участок и I пояс зоны санитарной охраны; 2 — наблюдательные скважины; 3 — гидрометрические посты на реке; 4 — границы II и III поясов зоны санитарной охраны

душем случае, скважины опорной сети на всех поясах зоны санитарной охраны должны быть задокументированы с помощью замкнутой нивелировки для единой планово-высотной их увязки. Только в этом случае можно будет производить различный анализ данных режимных наблюдений (построение карт гидроизогипс, различных графиков и т. д.).

Одним из основных положений в изучении режима подземных вод являются сроки и частота замеров их уровней, дебита скважин, химического состава и температуры.

Для изучения режима уровня и дебита скважин в I поясе зоны санитарной охраны на водозаборном участке, как отмечалось, целесообразно иметь непрерывную во времени документацию. При отсутствии автоматической аппаратуры частота документации дебита и динамического уровня подземных вод, как показывает опыт, принята 1—2 раза в сутки. Измерения температуры и отбор проб воды для контроля качества подземных вод необходимо производить в соответствии с инструктивными требованиями. На практике отбираются пробы примерно 1—2 раза в декаду.

Что же касается стационарных наблюдений в пределах II и III поясов зоны санитарной охраны, частота замеров, а также отбор проб воды для химического анализа должны быть установлены для каждого конкретного объекта в зависимости от степени фильтрационной неоднородности водоносного пласта, режима отбора подземных вод (постоянного или переменного во времени), санитарного состояния участка и других факторов. Опыт показывает, что для практики и последующих расчетов в наблюдательных скважинах достаточно проводить замеры динамического уровня подземных вод и температуры примерно 1 раз в декаду.

Необходимо подчеркнуть, что гидрогеохимическое и санитарно-бактериологическое опробование имеет большое значение для изучения качества подземных вод — важного параметра в оценке условий их отбора для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Для II и III поясов зоны санитарной охраны обязательным требованием является проведение замеров в скважинах по строго установленному расписанию, в котором должны быть предусмотрены постоянные маршруты обхода наблюдательных пунктов для первичной документации режима подземных вод. Стационарные наблюдения за режимом поверхностных вод (расходом и качеством) должны выполняться по гидрометрическим постам (гидрометрические мостики, рейки для изучения режима уровня воды в реке и др.), методика которых четко определяется инструктивными требованиями Гидрометслужбы СССР, а также условиям работы водозабора.

В практике хозяйственно-питьевого водоснабжения горнорудных предприятий известны действующие водозаборы, имеющие сложные гидрогеохимические условия. В таких условиях на площади I зоны пояса санитарной охраны необходимо оборудовать ярусное расположение наблюдательных скважин (рис. 35). Это позволит проводить наблюдение за процессом возможного подтя-

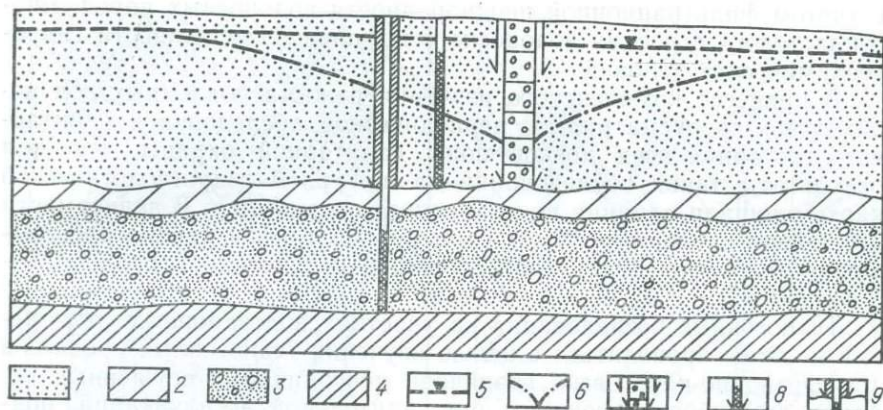


Рис. 35. Схема ярусного размещения наблюдательных скважин.

1 — водоносные породы с пресной водой; 2 — слабопроницаемые разделительные слои; 3 — водоносные породы с соленой водой; 4 — водонепроницаемые породы; 5 — уровень подземных вод в естественном залегании; 6 — депрессионная воронка; 7 — водозаборная скважина, оборудованная трубкой-пьезометром и расходомером; 8 — наблюдательная скважина на пресные воды; 9 — наблюдательная скважина на соленые воды (в зоне пресных вод скважина изолирована цементацией)

гивания (или перетекания) соленых вод в продуктивный горизонт. Результаты таких контрольно-предупредительных исследований позволят своевременно предпринять меры защиты пресных подземных вод от внедрения соленых.

На водозаборах инфильтрационного типа особое внимание следует уделить изучению режима гидравлической связи подземных и поверхностных вод. Практикой установлено, что при длительной эксплуатации инфильтрационных водозаборов в речных долинах во многих случаях постепенно увеличивается гидравлическое сопротивление русловых образований за счет их кольматации и заиления. Эти техногенные процессы приводят к ухудшению береговой инфильтрации поверхностных вод и питания водозаборных скважин. Режимные наблюдения по специально оборудованным для этой цели скважинам позволят своевременно принять оперативные меры по декольматации русловых отложений реки.

Что же касается организации на водозаборном участке вспомогательной (временно действующей) режимной сети, то для каждого конкретного случая эти вопросы должны рассматриваться самостоятельно, в зависимости от необходимости изучения тех или иных деталей режима подземных вод.

Изложенные выше основные принципы размещения опорной наблюдательной сети и методические приемы проведения стационарных исследований могут быть использованы и при изучении режима подземных вод на водозаборах, построенных на площади артезианских бассейнов и бассейна трещинно-карстовых вод. Как и в предыдущем случае, на водозаборных участках прежде всего должна быть обоснована организация зон санитарной охраны

с учетом фильтрационной неоднородности водоносных пород, многопластового строения водоносного комплекса и сложности гидрогеохимических условий.

В процессе комплексного изучения режима подземных вод необходимо предусматривать периодическое обследование санитарного состояния всех поясов зоны санитарной охраны, отражая результаты таких обследований на дежурной гидрогеологической карте площади влияния водозаборного сооружения. В зависимости от степени сложности общих санитарных условий района расположения водозабора такие обследования желательны проводить 1—2 раза в год.

Техногенные исследования на участках водозаборных сооружений должны проводиться с целью изучения техногенных процессов (суффозионно-карстовых, вторичной консолидации осушенных пород и др.), формирующихся при длительной эксплуатации подземных вод, а также разработки мероприятий по защите от негативного их воздействия на изменения свойств геологической среды [27]. Техногенные процессы могут привести к деформации поверхности и подземных коммуникаций. Наиболее интенсивно развиваются суффозионно-карстовые процессы, например, на действующем Янгильском водозаборном сооружении на Урале. Месторождение это приурочено к небольшому бассейну трещинно-карстовых вод, формирующемуся в карбонатных породах палеозойского возраста. Оно расположено в одноименной речной долине, в пределах которой аллювиальные песчано-гравелистые и глинистые образования залегают непосредственно на закарстованной поверхности водовмещающих известняков, мощность которых изменяется от 1 до 20 м (рис. 36). Основным источником формирования эксплуатационных запасов подземных вод на водозаборе являются поверхностные воды реки, режим которых во внутригодовом стоке резко отличается от паводков. При таких условиях питания водозабор работает, по существу, в двух режимах: а) в межень, когда нет питания, происходит сработка естественных запасов грунтовых вод песчано-галечниковых аллювиальных отложений и трещинно-карстовых вод известняков, в эту стадию на площади депрессионной воронки резко возрастают градиенты фильтрационного потока; б) в паводок ранее сработанные емкостные запасы очень быстро возобновляются за счет интенсивной инфильтрации поверхностных вод.

В связи с таким режимом питания годовая амплитуда колебания подземных вод в скважинах на площади влияния водозабора достигает более 20 м. Этот процесс переменного режима динамического уровня и градиентов потока и создает благоприятную обстановку для формирования на площади депрессионной воронки суффозионно-карстовых процессов. Оживляется суффозионный вынос мелкого обломочного материала из древних карстовых полостей вплоть до поверхности. В результате в пределах долины образуются провальные воронки обрушения (рис. 37), что приводит не только к деформации поверхности, но и к ухудшению качества

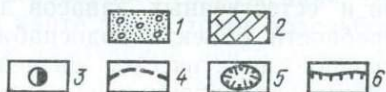
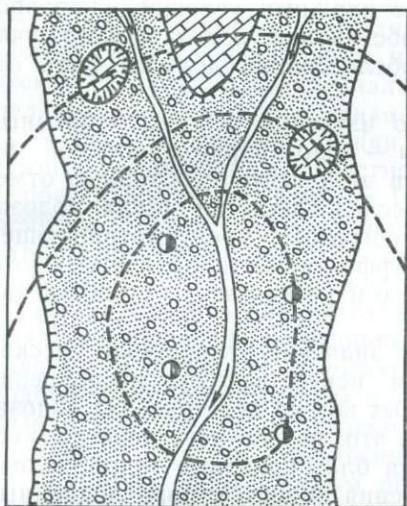


Рис. 36. Схематический план водозаборного участка.

1 — песчано-галечниковые отложения; 2 — карбонатные породы; 3 — водозаборная скважина; 4 — гидронизипсы; 5 — суффозионно-карстовая воронка; 6 — контур речной долины

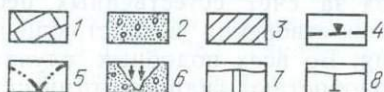
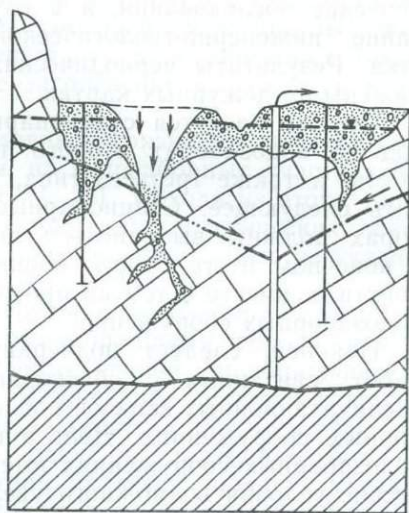


Рис. 37. Гидрогеологический разрез водозаборного участка.

1 — карбонатные породы; 2 — песчано-галечниковые отложения; 3 — водонепроницаемые породы; 4 — уровень подземных вод до эксплуатации; 5 — депрессионная воронка; 6 — суффозионно-карстовая воронка. Скважины: 7 — водозаборная; 8 — наблюдательная

подземных вод на водозаборе. Целесообразно в таких гидрогеологических условиях выбрать наиболее рациональные условия эксплуатации водозабора, с тем чтобы избежать формирования суффозионно-карстовых процессов.

Опыт эксплуатации вод горнорудных предприятий показывает, что процессы деформации инженерных сооружений на площади водозабора, расположенных в горных условиях, могут произойти и под влиянием естественных инженерно-геологических процессов; селевые потоки, склонные оползни, обвалы и т. д. Все это предопределяет необходимость проведения в составе стационарного изучения опыта эксплуатации подземных вод инженерно-геологических исследований в двух основных направлениях: а) непосредственно на площади зоны санитарной охраны действующего водозаборного сооружения с целью изучения условий формирования техногенных процессов, б) в горных районах на прилегающей к водозабору территории с целью изучения условий формирования естественных геодинамических процессов и оценки возможного их влияния на деформацию водозаборных сооружений. В составе работ по первому направлению следует предусмотреть перио-

дические обследования, а в случае сложных условий — картирование инженерно-геологической обстановки водозаборного участка. Результаты периодических обследований должны быть отражены на дельных картах.

Что же касается стационарного изучения режима подземных вод на водозаборах второго типа — водозаборно-дренажной системы, а также третьего типа, то в этой части необходимо отметить следующее. Стационарные исследования на таких водозаборах должны выполняться по программе, предусматривающей в конечном итоге общую оценку эффективности дренажных устройств, и вместе с тем по программе изучения этих устройств как водозаборных сооружений.

Наконец, следует подчеркнуть значение гидрогеологических работ, связанных с обоснованием искусственного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод на действующих водозаборных сооружениях. Дело в том, что не на всех действующих водозаборных сооружениях имеются благоприятные гидрогеологические условия возможного увеличения общего отбора подземных вод за счет естественных ресурсов и естественных запасов для удовлетворения возрастающей потребности объекта водоснабжения. Во всех подобных случаях большое практическое значение приобретают гидрогеологические работы, направленные на обоснование искусственного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод непосредственно на действующих водозаборах. Накопленный в Советском Союзе опыт показывает, что с помощью искусственного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод на действующих водозаборах можно не только предотвратить на месторождениях истощение ресурсов продуктивного горизонта, но и обосновать дальнейшее расширение каптажного сооружения и увеличение его общей производительности. Учитывая некоторую особенность работ по искусственному восполнению эксплуатационных запасов подземных вод, их проведение целесообразно проводить по специальному проекту [29]. Весь комплекс перечисленных выше работ следует рассматривать как важнейшее звено в управлении ресурсами и качеством подземных вод, средство, обеспечивающее наиболее рациональные и бесперебойные условия эксплуатации действующих водозаборов горнорудных предприятий.

Охрана подземных вод от загрязнения на водозаборном участке

Стационарное изучение качества качества подземных вод на водозаборном участке является одной из важнейших задач комплексных исследований. Химическое и бактериальное загрязнение подземных вод чаще всего может происходить под влиянием техногенных факторов: проникновения в продуктивный водоносный горизонт токсичных отходов промышленных (хвостохранилищ, гидроотвалов и др.) и сельскохозяйственных объектов, бытовых стоков, а также руд-

ничных вод. Наиболее трудноудаляемыми являются химические загрязнения, которые проявляются увеличением в пресных подземных водах концентрации минеральных и органических токсических соединений. Бактериальное загрязнение выражается в появлении в воде микроорганизмов.

Методы прогнозной оценки условий загрязнения пресных подземных вод вообще и, в частности, на водозаборных участках подробно изложены в работах [4, 9, 11, 25]. Исходя из этого, ниже отметим только главные положения гидрогеологических основ охраны подземных вод от загрязнения, заимствованные из указанных работ.

Миграция загрязнений от их очагов к водозабору зависит от ряда факторов: фильтрационной неоднородности пород продуктивного водоносного горизонта, естественной дренированности водовмещающей структуры и т. д. Важнейшим является гидродинамический фактор, характеризующий наличие или отсутствие на изучаемом участке естественного движения подземных вод.

В связи с этим важным понятием является «область захвата водозаборного сооружения». Это такая область, площадь которой на карте линии токов водозаборного участка четко ограничивается так называемой нейтральной линией тока (рис. 38). Такая схема линий токов может быть построена по карте гидроизогипс. Как видно из прилагаемой схемы, в пределах этой площади линии токов подземных вод направлены непосредственно к водозаборным скважинам. За пределами области захвата они, как бы огибая

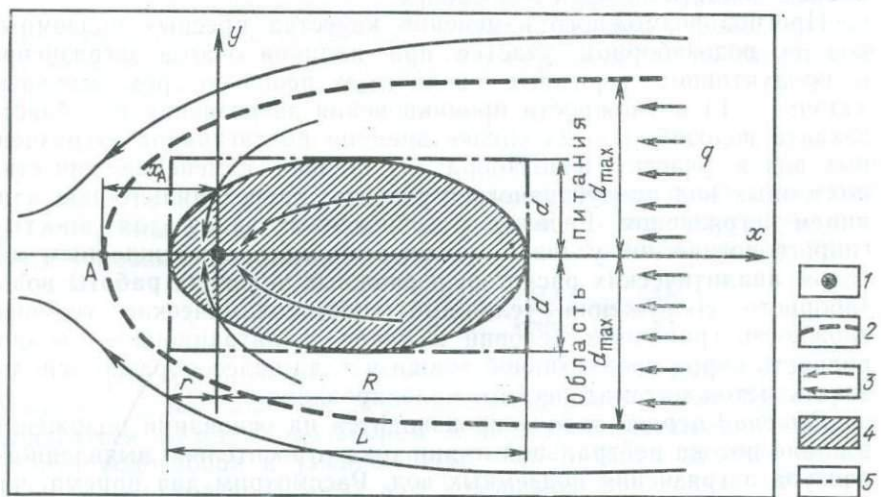


Рис. 38. Принципиальная схема движения подземных вод к водозабору при наличии естественного потока.

1 — водозабор; 2 — водоразделительная точка А; 3 — нейтральная линия тока; 4 — область захвата; 5 — граница зоны санитарной охраны

водозабор, минуют эксплуатационные скважины. Вниз по потоку подземных вод область захвата водозабора ограничивается водораздельной точкой А, а вверх по потоку теоретически будет распространяться неограниченно. Между понятиями «область захвата» и «область питания» водозаборного сооружения существует некоторое различие. Область питания характеризует площадь распространения продуктивного горизонта, в пределах которой движение подземных вод направлено к водозабору, а область захвата — ту часть водоносного горизонта, в пределах которой происходит снижение уровня подземных вод по причине их отбора. В пределах бассейна подземных вод, где естественная скорость их практически отсутствует, обе области совпадают; в условиях потока подземных вод область захвата составляет часть области питания.

Из этих теоретических предпосылок следует, что, если загрязненные воды в условиях потока будут находиться непосредственно внутри области захвата, то рано или поздно загрязнение поступит к водозаборным скважинам. В условиях бассейна, где понятия «область захвата» и «область питания» водозабора совпадают, движение загрязненных вод в сторону каптажа теоретически может происходить из любой точки продуктивного водоносного горизонта. В таких гидрогеологических условиях загрязнение подземных вод на участке каптажа будет определяться временем миграции загрязнения от очага к водозабору, а также степенью изменения качества пресных подземных вод продуктивного горизонта.

В условиях потока, где четко выражена естественная скорость движения подземных вод, их загрязнение определяется формированием области захвата водозабора.

Прогноз возможного изменения качества пресных подземных вод на водозаборном участке при наличии очагов загрязнения в продуктивном горизонте сводится к решению трех основных задач: 1) возможности проникновения загрязнения в «область захвата водозабора»; 2) оценке времени подтягивания загрязненных вод к участку водозабора; 3) степени изменения качества подземных вод продуктивного горизонта, происходящего под влиянием загрязнения. Решение перечисленных задач для простых гидрогеологических условий можно выполнить приближенным методом аналитических расчетов; в сложных условиях работы водозаборного сооружения (сложные гидрогеохимические условия, сложность граничных условий в плане, фильтрационная неоднородность пород продуктивной толщи и т. д.) целесообразно использовать метод математического моделирования.

Решение первой задачи производится на основании положения в плане потока нейтральной линии тока относительно выявленного контура загрязнения подземных вод. Рассмотрим два приема, часто встречающихся на практике в условиях неограниченного и полуограниченного пластов.

В условиях неограниченного по площади водоносного горизонта — для одиночного водозабора или сосредоточенной группы эксплуатационных скважин, работающих

в потоке подземных вод с дебитом Q_0 , расстояние от водозаборного сооружения до водораздельной точки A вниз по потоку (см. рис. 38) можно определить по формуле

$$X_A = \frac{Q_0}{2\pi k m i_e}.$$

Половина ширины области захвата на линии водозаборного сооружения может быть определена по зависимости

$$d = \frac{Q_0}{4\pi k m i_e},$$

где km — водопроводимость пласта; i_e — уклон естественного потока.

Для большой длины линейного ряда скважин положение водораздельной точки определяется по зависимости

$$X_A = \frac{b}{\pi} \operatorname{arth} \frac{Q_0}{2mbki_e},$$

где b — расстояние между скважинами в ряду; Q_0 — дебит отдельной (взаимодействующей в ряду) скважины ось; y совпадает с линией ряда; ось x направлена по потоку.

Для условий полуограниченного по площади пласта с контуром постоянного напора (например, у реки — тип инфильтрационного водозабора). Для одиночной скважины или группы сосредоточенных по площади скважин, расположенных по оси x на расстоянии R от реки (ось y совпадает с контуром реки), естественный поток направлен к реке, положение водораздельной точки A по оси x определяется по следующей зависимости:

$$X_A = \sqrt{R^2 - \frac{QR}{\pi k m i_e}}.$$

Для линейного ряда скважин большой длины, когда скважины расположены на расстоянии R от реки в тех же гидрогеологических условиях, положение водораздельной точки на оси x равно

$$X_A = \frac{b}{2\pi} \operatorname{Arch} \left(\operatorname{ch} \frac{2\pi R}{b} - \frac{Q_0}{kmbi_e} \operatorname{sh} \frac{2\pi R}{b} \right).$$

Для рассматриваемых условий, когда естественный поток подземных вод направлен к реке, водораздельная точка будет располагаться между водозабором и контуром питания. С ростом дебита водозабора и уменьшением роли питания за счет естественных ресурсов подземных вод водораздельная точка будет приближаться к контуру постоянного напора.

Решение второй задачи может быть выполнено также приближенно по схеме «поршневого вытеснения». По этой схеме продвижение контура загрязнения принимается равномерным (для условий однородного по фильтрационным свойствам пласта) без

учета фильтрационной неоднородности водовмещающих пород продуктивного горизонта, а также без учета взаимодействия загрязнений с горными породами.

Для условий бассейна подземных вод в неограниченном однородном пласте, когда незначительна естественная скорость потока, практически можно пренебречь одиночной скважиной или группой скважин («большой колодец»), расположенных на расстоянии X_1 от прямолинейной границы загрязненных вод. Время продвижения загрязненных вод из любой точки границы раздела между пресными и загрязненными водами можно определить по формуле (одиночная скважина или группа скважин по площади, преобразованная в схему «большого колодца»)

$$t = \frac{\pi mn}{Q} (r_1^2 - r_2^2),$$

где m — мощность водоносного горизонта; n — пористость пород водоносного горизонта; Q — дебит водозаборного сооружения; r_1 и r_2 — начальное и конечное положение точек, определяемые из формул

$$r_1 = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}, \quad r_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2},$$

где X_1 и X_2 — расстояния по оси x ; Y_1 и Y_2 — расстояния по оси y .

Когда водозаборное сооружение работает в условиях потока подземных вод (одиночная скважина или группа скважин по площади), время продвижения загрязнений по любой линии тока внутри области захвата от начального положения границы загрязненных вод (от очага загрязнения) до участка водозабора можно определить по зависимости

$$t = \pm \frac{n}{t_e} \left[X_1 - X_A \ln \left(\cos \frac{Y_1}{X_A} + \frac{X_1}{Y_1} \sin \frac{Y_1}{X_A} \right) \right],$$

где X_1 и Y_1 — абсцисса и ордината начального положения точки; знаки плюс и минус означают движение по потоку или против потока.

Для неограниченного линейного ряда скважин, при условии если длина ряда в 5–6 раз больше расстояния до параллельной ему границы загрязненных вод (что по существу отвечает условиям бесконечного пласта), для условий бассейна время продвижения загрязненных вод от начального положения X_1 до отметки X_2 можно определить по формуле

$$t = \frac{2\pi kmb^2}{\pi Q_0} \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{nX_1}{b}}{\operatorname{ch} \frac{nX_2}{b}}.$$

Для условий фильтрационного потока, когда граница загрязненных вод расположена выше по потоку, время продвижения за-

грязненных вод к линейному ряду скважин водозабора приближенно может быть определено по формуле

$$t = (n \Delta X_1) \left(\frac{q_0}{2m} + v_e \right); \quad q_0 = Q_0/b,$$

где q_0 — единичный расход воды; v_e — скорость фильтрации естественного потока подземных вод.

Для гидрогеологических условий, отвечающих расчетной схеме полуограниченного по площади однородного пласта с контуром постоянного напора (реки), время движения загрязненных вод к водозабору приближенно можно определить следующим образом.

1. Для одиночной или группы скважин («большой колодец») в условиях бассейна по формуле

$$t = \frac{\pi n m d^2}{3Q} \left[2 + \left(\frac{X_1}{d} \right)^3 - 3 \frac{X_1}{d} \right],$$

где Q — постоянный дебит скважины (группы скважин), расположенной по оси x на расстоянии d от контура постоянного напора (реки); X_1 — начальное (исходное) положение загрязненных вод.

2. Для условий естественного потока, направленного от контура питания по оси x к скважине, по формуле

$$t = \frac{n}{v_e} \left[(d - X_1) - \frac{X_A^2 - d^2}{2X_A} \ln \frac{(X_A + d)(X_A - X_1)}{(X_A - d)(X_A + X_1)} \right].$$

Если граница загрязненных вод совпадает с контуром постоянного напора ($X_1 = 0$), то

$$t = \frac{n}{v_e} \left(d - \frac{X_A^2 - d^2}{2X_A} \ln \frac{X_A + d}{X_A - d} \right).$$

Для линейного ряда (неограниченного по длине) скважин, расположенного параллельно контуру постоянного напора (реки) на расстоянии d от него, время продвижения загрязненных вод при условии, что это движение направлено от реки, можно определить по следующей зависимости:

$$t = \frac{nbm}{Q_0} \left(d \operatorname{cth} \frac{2\pi d}{b} - \frac{b}{2\pi} \right).$$

Третья задача состоит в оценке изменения качества отбираемой воды на водозаборе, которое будет происходить под влиянием загрязнения. В этом отношении прогнозную оценку изменения свойств пресных подземных вод можно производить по любым показателям качества питьевого назначения, перечисленным в ГОСТ 2874—82. Рассмотрим прогнозную оценку по изменению степени минерализации. Отметим при этом, что нижеприведенные аналитические решения являются приближенными и отвечают простым схемам гидрогеологических условий водозаборных

участков. Для сложных схем, когда четко прослеживается плановая фильтрационная неоднородность пород продуктивного водоносного горизонта, слоистый разрез водоносного комплекса, сложные граничные условия в плане и т. д., решение задач необходимо выполнять с использованием метода математического моделирования на ЭВМ.

Для одиночной скважины или группы скважин площадного расположения, преобразованных по схеме «большого колодца» расположенной в неограниченном пласте в условиях бассейна, изменение общей минерализации воды C в скважине в результате смешения пресных и некондиционных вод можно оценить по следующей зависимости:

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{T}{t}}, \quad (1)$$

где C_0 — минерализация пресных подземных вод на водозаборе; C_1 — минерализация некондиционных (загрязненных) подземных вод; T — время поступления в скважину первых порций некондиционных вод; t — текущее время.

Выражение (1) действительно при $t > T$.

Максимальная минерализация подземных вод на водозаборе (при $t \rightarrow \infty$) равна полусумме значений C_0 и C_1 , т. е.

$$C_{\max} = \frac{C_0 + C_1}{2}.$$

В условиях фильтрационного потока, если прямолинейная граница некондиционных вод располагается внутри области питания на расстоянии X_1 от скважины (или группы по площади скважин) вверх по потоку (направление движения естественного потока и некондиционных вод совпадает), то прогнозную оценку изменения общей минерализации пресных подземных вод на водозаборе можно оценить по зависимости

$$C = C_0 + (C_1 - C_0) \left(\frac{1}{\pi} \arctg \frac{Y}{X_1} + \frac{2v_e Y m}{Q} \right),$$

где X , Y — расстояния от скважины до прямолинейной границы некондиционных вод соответственно по оси x и y .

Анализируя различные условия изменения качества подземных вод на водозаборном участке, В. М. Гольдберг отмечает, что в принципе при этом процессе могут быть три основных варианта: а) полное ухудшение подземных вод на водозаборе до степени, отвечающей некондиционным водам; б) частичное ухудшение качества отбираемой воды; в) временное ухудшение качества пресных подземных вод.

Полное ухудшение качества подземных вод, например, может произойти при подтягивании некондиционных вод из реки в условиях бассейна или естественного потока, когда граница неконди-

ционных вод пересекает всю область питания водозабора и располагается вверх по потоку.

В заключение раздела отметим методический прием оценки балансовой структуры запасов подземных вод.

Оценку балансовой структуры эксплуатационных запасов подземных вод, формирующихся на действующем водозаборном участке, можно произвести используя способ расчленения гидрографа эксплуатационных запасов подземных вод, предложенный И. А. Баркаловым. Сущность способа состоит в сравнительной оценке гидрогеологических данных разведки месторождения подземных вод с данными многолетней эксплуатации водозабора, позволяющей более достоверно определить основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, а также уточнить рациональный режим работы каптажного сооружения. В стадию разведки месторождений подземных вод не всегда удается оценить влияние всех граничных условий потока в плане и в разрезе. Объясняется это тем, что опытно-фильтрационные работы в эту стадию проводятся в более короткие сроки по сравнению со стадией длительной эксплуатации. В стадию эксплуатации водозабора гидрогеологические факторы, определяющие источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, проявляются полностью, достаточно достоверно и четко фиксируются данными режимных наблюдений за работой каптажа. Расчленение гидрографа эксплуатационных запасов производится с помощью общего анализа значений фактического суммарного водоотбора, режима уровня подземных вод и данными разведки месторождения.

Рассмотрим расчленения гидрографа эксплуатационных запасов подземных вод на конкретном примере. Месторождение трещинно-карстовых вод приурочено к карбонатным породам палеозойского возраста. Водозабор эксплуатируется в условиях безграничного в плане пласта с кратковременным влиянием временного водотока, а затем с постоянным влиянием небольшого водохранилища.

Для построения гидрографа используются теоретическая кривая I (рис. 39), построенная по параметрам, полученным в стадию разведки с учетом заданной производительности водозабора, и кривая II фактического снижения уровня подземных вод в процессе эксплуатации водозабора по данным режимных наблюдений за период не менее 4—5 лет (за этот период на участке каптажного сооружения уже четко может проявиться влияние всех основных граничных условий водоносного пласта). В рассматриваемом примере период режимных наблюдений соответствует расчетному периоду эксплуатации месторождения. Приняты следующие дополнительные гидрогеологические условия работы водозабора: а) дебит водозабора является переменным, ступенчатым, с диапазоном изменений от 50 до 65 тыс. м³/сут; б) в формировании эксплуатационных запасов участвуют родниковый сток, проявляющийся в зоне развития депрессионной воронки, воды

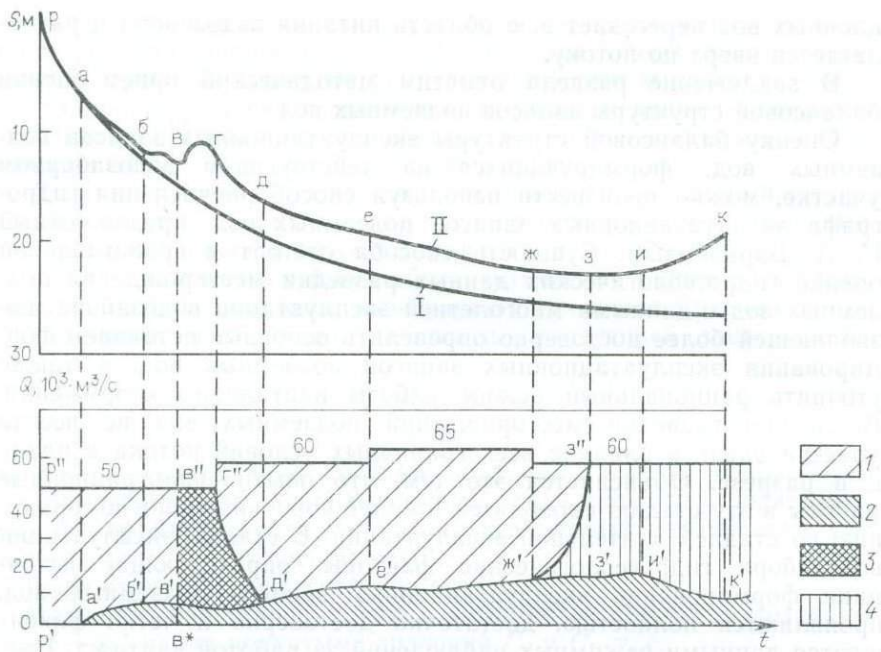


Рис. 39. Схема расчленения гидрографа эксплуатационных запасов подземных вод.

1 — сработка емкостных запасов подземных вод; 2 — уменьшение родникового стока с учетом сезонных колебаний; 3 — привлекаемые ресурсы из временного водохранилища; 4 — привлекаемые ресурсы из постоянного водохранилища (реки); I — теоретическая кривая; II — фактическая кривая

прилегающего временного водохранилища, а через некоторый период — поверхностные воды постоянного водохранилища, созданного для восполнения запасов подземных вод района, и, наконец, сработка емкостных запасов трещинно-карстовых вод; в) при определении параметров пласта в процессе проведения опытных работ в стадию разведки не учитывалось влияние дополнительного расхода родников в зоне разгрузки.

На рис. 39 точка а — начало отклонения фактической кривой II от теоретической расчетной I указывает на начало подключения в эксплуатацию родникового стока. По точкам б и в, находящимся на четких изгибах кривой II, определяется объем родникового стока, участвующего в эксплуатации. Общая производительность водозабора в этот период составила 50 тыс. м³/с. Расчет дополнительного питания за счет родников производится для кривой I, соответствующей этому же расходу. Объем дополнительного питания определяется площадью фигуры а' б' в' в — по разности между фактическим дебитом водозабора и дебитом, определенным теоретическими расчетами. Площадь фигуры р' а' б' в' в'' р'' соответствует объему емкостных запасов, участвующих в эксплуатации. Точками в и г на кривой II ограничен пик подъема уровня

воды за счет привлекаемых ресурсов из временного водохранилища, созданного в сухом русле. Общий объем привлекаемых ресурсов выражается площадью фигуры $v' v'' g'' d'$. В дальнейшем произошло увеличение общего водоотбора вначале до 60, а затем до 65 тыс. $m^3/сут$. Определим для точек д, е, ж, и з, как и для предыдущих точек, при проекции $d', e', ж' и з'$ на графике $Q=f(t)$. На отрезке $d'—z'$ вновь выделяются те же составляющие дебита водозабора (родниковый сток и емкостные запасы) трещинно-карстовых вод. От точки ж до точки з наступает период постепенной стабилизации уровня, что указывает на включение нового дополнительного источника питания за счет фильтрации из созданного в этот период вблизи водозабора водохранилища. Интервал кривой между точками з и и соответствует водоотбору при полной стабилизации уровня подземных вод. На отрезке ик фильтрация воды из водохранилища превышала расход водозабора, что привело к уменьшению родникового стока.

Итак, график $S=f(t)$ отображает характер понижения уровня подземных вод по расчетной кривой (при заданном начальном расходе 50 тыс. $m^3/сут$), а также по фактической кривой понижения уровня, составленной по данным режимных наблюдений в центре водозабора. График $Q=f(t)$ отображает истинное значение отбора воды во времени и генетические составляющие эксплуатационных запасов, вовлеченных в эксплуатацию за период наблюдений за работой водозабора. Начало вовлечения водозабором той или иной составляющей баланса запасов определяется точками перегиба на кривой II, а объем отобранной воды для этих составляющих запасов по отношению к общему водоотбору определяется положением проекций этих точек на графике $Q=f(t)$.

Результаты оценки балансовой структуры эксплуатационных запасов подземных вод, выполненной с помощью расчленения гидрографа — комплексного графика, могут быть использованы для уточнения схемы расположения опорной режимной сети, а также технологической схемы проведения стационарных наблюдений. Этот метод вполне возможно использовать также для оценки балансовой структуры источников обводнения рудных месторождений, обрабатываемых карьерным способом.

Глава 9

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХРАНИЛИЩ ПРОМСТОКОВ

Задачи исследований и принципы организации наблюдательной сети

Как отмечалось выше, в структуру горнорудного предприятия часто входит обогатительный цех: обогатительная фабрика и непосредственная ее принадлежность — бассейны хранения промстоков

(хвостохранилище). Хвостохранилище является сравнительно сложным гидротехническим сооружением, на площади которого производится складирование и хранение твердой фазы токсичных промстоков; жидкая фаза после соответствующей обработки (обезвреживания) используется для оборотного водоснабжения обогатительной фабрики.

Как показывает опыт эксплуатации, участки хвостохранилища вследствие неизбежных инфильтрационных потерь жидких промстоков или аварийных сбросов являются потенциальными очагами химического загрязнения подземных и поверхностных вод.

В аридной зоне Советского Союза при близком залегании уровня грунтовых вод от поверхности химическое загрязнение под влиянием интенсивного испарения может распространиться и в почвенном покрове. В связи с этим возникает необходимость проведения на площади бассейнов хранения промстоков стационарных исследований с целью изучения условий миграции загрязнений в подземных водах, прогнозной оценки возможного изменения качества пресных подземных вод, а также обоснования в случае необходимости мероприятий по защите подземных вод от химического загрязнения. Такие стационарные наблюдения должны выполняться в двух направлениях: гидродинамические и гидрогеологические исследования (комплекс исследований проводится на базе опорной и вспомогательной сетей режимных скважин).

Постановка режимных наблюдений должна исходить из учета теоретических основ условий миграции загрязняющих веществ в подземных водах и их взаимосвязи с горными породами. Задачи прогнозной оценки условий химического загрязнения подземных вод обычно решаются на гидродинамической основе теории массового и теплопереноса, описывающей процессы конвекции, а также процессы взаимодействия подземных вод с горными породами (физико-химические процессы). Основные положения теории миграции загрязняющих веществ в подземных водах достаточно подробно изложены в работах [4, 7, 11, 20, 36]. Исходя из этого, ниже приводятся весьма краткие сведения из общей теории миграции.

Важнейшим фактором миграции загрязнений в подземных водах является конвективный перенос. Эта форма миграции происходит за счет гидравлического переноса частиц воды фильтрационным потоком. Основной характеристикой конвективного переноса подземных вод является действительная скорость фильтрации v_e , а также активная пористость водовмещающих пород n_0 . К физико-химическим процессам, осложняющим миграцию загрязнений подземных вод, относятся сорбция и десорбция, а также растворение. Для приближенного решения практических задач прогнозной оценки возможного изменения качества подземных вод применяется наиболее простая постановка миграции — по схеме так называемого поршневого вытеснения (вытеснения одной жидкостью другой, без перемешивания). По этой схеме условно прини-

мается, что все частицы воды в однородных водоносных пластах мигрируют в зоне полного насыщения с одинаковой скоростью. Физико-химические процессы при этом не учитываются.

В реальных условиях эксплуатации бассейнов—накопителей промстоков миграция загрязнений происходит в верхних, неглубоко залегающих водоносных горизонтах при относительно большой естественной скорости потока подземных вод, т. е. в условиях преимущественно конвективного переноса вещества вместе с водной фазой. Наблюдения за опытом эксплуатации бассейнов показывают, что образование области загрязнений происходит в несколько фаз. В начальной фазе под влиянием неизбежных инфильтрационных потерь под дном бассейна образуется бугор растекания загрязнений на поверхности грунтовых вод. В этой фазе происходит миграция в породах зоны аэрации. Начальная фаза загрязнений подземных вод характеризуется, таким образом, режимом свободной фильтрации; длительность фазы свободной фильтрации может продолжаться от одного года до двух лет.

Далее в процессах фильтрации наступает вторая фаза — смыкание потока из водохранилища промстоков с грунтовыми водами; в зоне инфильтрации в результате этого формируется режим подпорной фильтрации потока. В этой фазе происходит смешение сточных вод с грунтовыми водами. Наконец, наступает третья фаза — собственно миграция загрязнений по водоносному горизонту, в плане потока формируется фронт загрязнения. Формирование области загрязнения подземных вод ниже хвостохранилища зависит от ряда факторов, из которых наиболее существенными являются: значение естественной скорости потока, фильтрационная неоднородность водовмещающих пород, а также различие в плотности сточных и подземных вод. При незначительной разности в плотности и большой скорости потока область загрязнения будет распространяться преимущественно в верхней части водоносного горизонта.

В результате стационарных гидрохимических исследований должны быть установлены: расход сточных вод, фильтрующихся из бассейна хранения промстоков; оценены распределение напоров в водоносном горизонте и естественная скорость потока подземных вод, а также уточнены миграционные параметры пласта. Гидрогеохимические исследования должны быть направлены на изучение условий миграций загрязняющего вещества в подземных водах (распределение концентрации загрязняющего вещества в пространстве и во времени).

На участках эксплуатации бассейнов хранения токсичных промстоков должна быть организована специальная опорная и вспомогательная сеть наблюдательных скважин для производства стационарных наблюдений. Комплексное стационарное изучение режима подземных вод на участке эксплуатации хвостохранилища призвано выполнять контрольно-предупредительные функции. Контрольная функция состоит в раннем обнаружении загрязнения подземных вод и выдаче в этом направлении оперативных

прогнозов. Предупредительные функции состоят в своевременной разработке и внедрении оперативных мер защиты подземных вод от загрязнений окружающей среды в целом от негативного влияния техногенных процессов.

При организации опорной сети целесообразно учитывать следующие принципы размещения наблюдательных скважин.

Принцип учета литолого-структурных и естественно-гидрогеологических условий изучаемого объекта: условия формирования в плане фильтрационного потока, мощность и литологический состав водовмещающих пород, фильтрационные свойства пород и их неоднородность в плане и разрезе, наличие зон с повышенными естественными скоростями фильтрации, по которым можно ожидать более интенсивного проникновения загрязнений и т. д. Качественно эти условия могут быть установлены при схематизации области фильтрации. Этот принцип может быть использован для выбора расстояния между опорными скважинами. Участок размещения опорной сети должен быть достаточно хорошо изучен в гидрогеологическом отношении.

Принцип полноты исследований, обеспечивающий достоверность решения задач по охране качества подземных вод. Этот принцип является емким по своему содержанию и состоит из методических приемов, предусматривающих необходимость: а) радиально-лучевого размещения наблюдательных скважин, расходящихся от хвостохранилища в сторону направления движения естественного потока; б) изучения условий миграции загрязнений не только в плане (по площади), но и в разрезе (с учетом профильной фильтрационной неоднородности), для чего при большой мощности водоносного горизонта должно быть ярусное расположение скважин; в) поэтапного размещения наблюдательных скважин опорной сети от начала исследований и далее, по мере накопления новой гидрогеохимической информации в процессе режимных стационарных исследований; г) размещения наблюдательных скважин в непосредственной близости от пионерной дамбы бассейна, чтобы зафиксировать исследованиями начальную стадию миграции.

Этот принцип позволяет довольно четко выявить закономерности в режиме рассеяния загрязняющих компонентов в водоносном горизонте (формирование контура загрязнения в плане и разрезе, условия продвижения контура во времени по плану, распределение в подземных водах концентрации загрязняющих компонентов и т. д.). Вместе с тем из этого принципа также вытекает, что начальный створ наблюдательных скважин должен быть размещен вблизи бассейна (примерно в 30—100 м), а замыкающий створ целесообразно разместить на пути к охраняемому объекту (например, к действующему водозабору). Расстояние между скважинами в лучевых створах целесообразно определять для каждого изучаемого объекта с учетом изложенных принципов. На рис. 40 и 41 представлена примерная схема размещения опорной сети наблюдательных скважин на площади, прилегающей

Рис. 40. Примерная схема размещения опорной наблюдательной сети на участке хвостохранилища.

1—2 — наблюдательные скважины: 1 — ярусные, 2 — одиночные; 3 — пионерная дамба хвостохранилища.

1—1 — линия разреза. Стрелками показано направление движения естественного потока

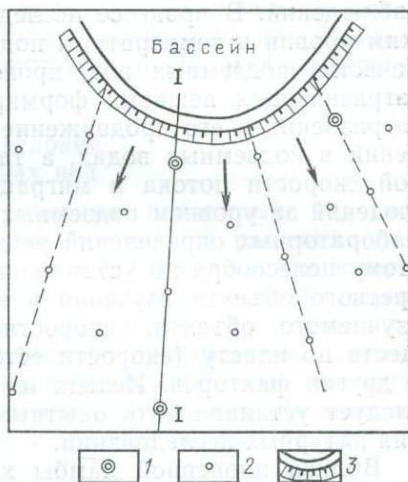
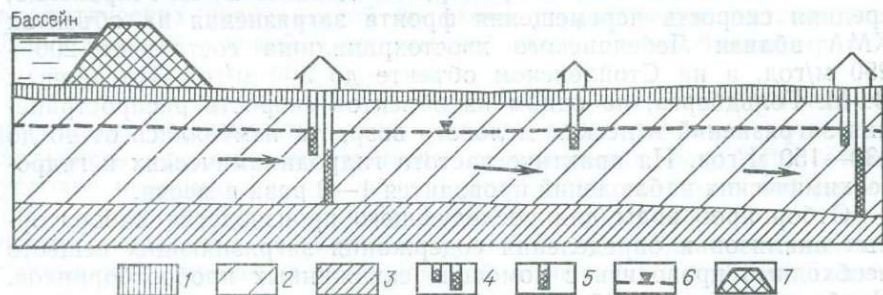


Рис. 41. Гидрогеологический профиль по линии I—I (см. рис. 45) опорной сети наблюдательных скважин.

1 — слабоводопроницаемые суглинки; 2 — водоносные породы; 3 — водонепроницаемые породы. Наблюдательные скважины, оборудованные фильтрами: 4 — ярусные; 5 — одиночные; 6 — уровень подземных вод; 7 — пионерная дамба бассейна.

Стрелками показано направление движения подземных вод



к бассейну в сторону защищаемого объекта, для первого этапа исследований. При большой мощности водоносность горизонта очень важно учитывать профильную фильтрационную неоднородность пород, поэтому целесообразно иметь ярусное расположение наблюдательных скважин.

Принцип учета граничных условий потока в плане отвечает содержанию предупредительных функций комплексных исследований и предопределяет условия расположения наблюдательных скважин. Чаще всего это объекты защиты от возможного загрязнения: реки, водоемы с пресной водой, действующие водозаборы и т. д. Наблюдательные скважины между объектами защиты и хвостохранилищем целесообразно размещать по гидрогеологическим профилям таким образом, чтобы своевременно определить сроки продвижения фронта загрязнения и затем в случае необходимости наметить мероприятия по охране.

Важным разделом комплексных исследований на участках хвостохранилищ является методика проведения стационарных

наблюдений. В процессе исследований должны быть изучены: режим уровня и температуры подземных вод, изменение во времени качества подземных вод, происходящее под влиянием миграции загрязняющих веществ, формирование в плане контура области загрязнения и его продвижение во времени, концентрация загрязнений в подземных водах, а также уточнены значения естественной скорости потока и миграционных параметров. Частоту наблюдений за уровнем подземных вод и отбор проб из скважин для лабораторных определений регламентировать очень сложно и поэтому целесообразно устанавливать ее отдельно для каждого конкретного объекта изучения в зависимости от степени сложности изучаемого объекта, скорости продвижения загрязняющих веществ по пласту (скорости естественного потока подземных вод) и других факторов. Исходя из этого, выбор частоты наблюдений следует устанавливать опытным путем на первом этапе проведения натурных исследований.

Вблизи пионерной дамбы хвостохранилища отбор проб воды должен быть более частым, чем в удаленных в сторону от бассейна скважинах. Так, например, по данным В. А. Мироненко, средняя скорость перемещения фронта загрязнения на объектах КМА вблизи Лебединского хвостохранилища составляет 200—250 м/год, а на Стойленском объекте до 300 м/год. По данным В. М. Гольдберга, на одном из объектов скорость распространения загрязнений в песках мелового возраста изменялась от 40 до 130—150 м/год. На практике частота гидродинамических и гидрогеохимических наблюдений проводится 1—2 раза в месяц.

Отбор проб воды для последующего производства лабораторных анализов и определения содержания загрязняющих веществ необходимо проводить с помощью скважинных пробоотборников. Проба воды должна быть отобрана после неоднократной кратковременной откачки из наблюдательной скважины либо с помощью насосного оборудования, либо желонкой. Контроль за качеством прокачки скважины можно провести с помощью резистивиметрового каротажа. Пробы воды, отобранные без прокачки, являются непредставительными. Консервация отобранных проб воды должна осуществляться в соответствии с требованиями обслуживающей химической лаборатории.

В состав комплексных исследований должна входить и камеральная обработка материалов режимных наблюдений с целью составления различных карт, разрезов, профилей, графиков и последующего их анализа. В этом направлении прежде всего необходимо составить дежурные оперативные гидрогеохимические карты наблюдательной сети участка исследования, охватывающие хвостохранилище, объект защиты и площадь между ними. На эти карты постоянно наносятся результаты гидрогеохимического опробования, отражающие временное (ежегодное) прослеживание формирования и продвижения фронта загрязнения. Должна быть также составлена карта гидроизогипс и линий токов, гидрогеологические и гидрогеохимические разрезы с данными опробования

и т. д. На рис. 38 приведена схема условий загрязнения подземных вод верхнемелового водоносного горизонта на участке эксплуатации шламонакопителя промстоков (по В. М. Гольдбергу и В. М. Мошкину).

Прогнозная оценка условий загрязнения подземных вод

Прогнозная оценка условий загрязнения подземных вод на участке эксплуатации хвостохранилищ состоит из решения следующих задач: а) количественной оценки фильтрационных потерь из хвостохранилища; б) оценки времени достижения профильтровавшихся со дна бассейна сточных вод уровня подземных вод; в) временной оценки условий и степени распространения загрязнений непосредственно в водоносном горизонте. Результаты прогнозной оценки или натурных исследований должны обосновать в случае необходимости меры защиты объекта охраны от загрязнений.

Приближенное решение перечисленных практических задач в простых гидрогеологических условиях можно выполнить на базе аналитических зависимостей по схеме «поршневого» вытеснения. Для сложных условий и крупных объектов целесообразно произвести решение задачи методом моделирования.

На основе предпосылки о «поршневом» вытеснении имеются расчетные зависимости, позволяющие прогнозировать время и дальность продвижения контура загрязненных вод. При этом условно принимается, что загрязненные воды являются нейтральными по отношению к горным породам и подземным водам изучаемого горизонта, не вступают с ними во взаимодействие, т. е. не учитываются процессы молекулярной диффузии и сорбции. Такой прием во многих случаях позволяет получить удовлетворительные решения практических задач. Гидрогеологический прогноз миграции загрязнений в пластовых условиях без учета сорбционных процессов позволяет оценить, по существу, верхний предел дальности распространения загрязнений, т. е. обеспечивает некоторый запас прочности, что очень важно для контроля за изменением качества подземных вод и своевременного принятия (в случае необходимости) мер защиты.

Важнейшим фактором в прогнозной оценке миграции загрязнений является скорость фильтрации подземных вод в естественных условиях. Анализ карты гидроизогипс, построенной для изучаемого участка, позволяет в каждом конкретном случае более точно определить направление потока подземных вод и при известном значении коэффициента фильтрации водоносных пород — естественную скорость потока по зависимости $V_c = \frac{kI}{n_0}$, где k — коэффициент фильтрации, I — уклон потока, n_0 — активная пористость.

Для упрощения прогнозных условий миграций загрязнений в подземных водах бассейн хранилищ промстоков в зависимости

от реальной их конфигурации может быть схематизирован в форме круга (замкнутый контур бассейна, продольные и поперечные размеры которого соизмеримы) и в форме канала (когда длина бассейна во много раз больше ширины).

Задача определения времени достижения жидкими промстоками из хвостохранилища уровня грунтовых вод приближенно может быть решена по формуле

$$t = \frac{n_0 H_0}{k} \left[\frac{m}{H_0} - \ln \left(1 + \frac{m}{H_0} \right) \right],$$

где n_0 — пористость пород зоны аэрации; H_0 — высота слоя сточных вод в бассейне; m — мощность пород зоны аэрации.

Натурные наблюдения и расчеты по указанной формуле показывают, что время достижения жидких промстоков уровня грунтовых вод существенно определяется фильтрационными свойствами пород зоны аэрации, однако это время в целом обычно невелико. Например, при значении коэффициента фильтрации пород менее 0,5 м/сут это время составляет от нескольких десятков суток, а при коэффициенте менее 0,01 м/сут — до сотен суток. Смыкание уровня грунтовых вод с дном бассейна в процессе миграции промстоков (формирование условий подпертой фильтрации) в общем случае происходит сравнительно быстро — за срок примерно не более 1—2 лет. Поэтому оценку величины фильтрационного расхода из водохранилища сточных вод можно производить из условно подпертого режима.

Если на бассейне столб жидких промстоков изменяется во времени, т. е. $H_0 = f(t)$ и удельный расход $q > k$, то время достижения промстоками уровня грунтовых вод можно определить по следующей зависимости:

$$t = \frac{m}{\frac{(1-n)k}{2n} + \sqrt{\frac{(1-n)k^2}{4n^2} + \frac{qk}{n}}},$$

где q — приведенный расход промстока Q/F (Q — общий расход промстоков; F — общая площадь фильтрации).

Для однородного строения пород зоны аэрации общий расход $Q_{\text{ср}}$ на фильтрацию промстоков из бассейнов круговой формы можно определить из следующей зависимости:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{kmH_0}{0,366 \lg(R/R_K)},$$

где R — расстояние от центра хвостохранилища до контура питания водоносного горизонта; R_K — радиус кругового бассейна.

Для линейной формы бассейна расход промстоков из хвостохранилища $q_{\text{ср}}$ на единицу его длины можно определить по формуле

$$q_{\text{ср}} = kmH_0(\Delta L),$$

где ΔL — гидравлическое сопротивление, определяемое для однородного пласта по формуле

$$\Delta L = B - \frac{2m}{\pi} \ln \operatorname{sh} \frac{\pi B}{2m},$$

где B — полуширина бассейна.

Фильтрационные потери из технического водоема можно также определить прямыми методами: а) балансовым; б) точечным опробованием с помощью инфильтрометров (конструкции ВНИИ ВОДГЕО погружного либо поплавкового типа системы ВНИМИ) с последующим суммированием результатов по площади бассейна [4, 20].

Когда фильтрация загрязнения достигнет уровня грунтовых вод, начинается их миграция по пласту вместе с подземными водами. Скорость V движения загрязненных вод при фильтрации из бассейнов вытянутой формы — вниз по потоку приближенно можно определить по зависимости

$$V = \frac{q_{\text{ср}}}{2mn_0} + \frac{v_e}{n_0}, \quad (2)$$

где $q_{\text{ср}}$ — фильтрационные потери промстоков на единицу длины хранилища; m — средняя мощность водоносного горизонта; n_0 — пористость водоносных пород; v_e — скорость фильтрации естественного потока подземных вод.

Произвольно выбранное расстояние x , на которое переместятся загрязненные воды в пласте за время t , для линейной формы бассейна равно $v_e t$.

Для бассейнов, приведенных к круговой форме, расчеты могут быть выполнены, как для круговой галереи, с расходом, равным расходу фильтрующихся из хранилища сточных вод. При этих условиях произвольно выбранное расстояние x_1 , на которое произойдет миграция загрязненных вод по пласту за время t под влиянием фильтрационных потерь из бассейна $Q_{\text{ф}}$, может быть определено по зависимости

$$x_1 = \sqrt{R^2 + \frac{Q_{\text{ф}} t}{\pi n_0 m}} + \frac{v_e t}{n_0} - R. \quad (3)$$

С помощью приближенных расчетов по формулам (2) и (3) можно оценить время, за которое миграция загрязненных вод может достигнуть объекта защиты. Эти приближенные расчеты могут быть использованы для размещения опорной наблюдательной сети. Необходимо отметить, что в условиях потока подземных вод важным фактором для миграции загрязнений является скорость естественного потока. Чем больше скорость естественного потока, тем меньше область растекания загрязнений в водоносном пласте; при этом сточные воды будут распространяться не по всей мощности водоносного горизонта, а преимущественно в пределах верхней ее части; вниз по потоку мощность зоны растекания будет

увеличиваться. При высокой плотности жидких промстоков загрязнение может распространяться на всю мощность водоносного горизонта.

Как показывают наблюдения, скорость распространения загрязнения в подземных водах, приуроченных к зернистым породам, обычно составляет от нескольких десятков до сотен метров в год. В трещиноватых и закарстованных породах эта скорость может достигать нескольких километров в год.

Учитывая, что очаг загрязнения подземных вод сохраняется в течение длительного времени после консервации хвостохранилища, крайне необходимо продолжить на объекте исследований комплексные стационарные режимные наблюдения и в период после прекращения эксплуатации хвостохранилища промстоков.

Мероприятия по защите подземных вод от загрязнений на участках эксплуатации хвостохранилищ могут быть представлены в следующем общем виде: а) существенное уменьшение фильтрационных потерь из хранилищ промстоков, путем тщательного экранирования ложе технических водоемов — водонепроницаемыми покрытиями; б) использование осветленных сточных вод для системы оборотного водоснабжения обогатительной фабрики; в) перехват бассейна промстоков инфильтрирующихся загрязненных вод путем устройства вблизи дренажной системы буровых скважин, с последующим использованием их для оборотного водоснабжения. Этот способ защиты рассмотрен ниже.

Анализ влияния хранения промстоков на загрязнение подземных вод

Технический бассейн накопителя промстоков расположен в пределах надпойменной террасы крупной реки, поверхностный сток которой действует периодически в течение года. Бассейн принимает стоки от обогатительной фабрики, перерабатывающей медные руды. Намыв промстоков был начат в 1961 г. Проектный срок эксплуатации бассейна был установлен в 19—20 лет; площадь хвостохранилища занимает 800 га, а проектный объем составляет 225 млн. м³.

В геологическом отношении участок технического бассейна сложен песчано-галечниковыми аллювиальными образованиями верхне-четвертичного возраста. В пределах изучаемой площади в разрезе песчано-галечниковых пород выделяют несколько зон различной проницаемости.

Верхняя зона мощностью 30—40 м сложена галечниками с песчаным заполнителем. Ниже залегает вторая зона мощностью 30—35 м, которая в южной части хвостохранилища представлена галечниками с песчаным заполнителем более мелких фракций, в северной части галечники сменяются суглинистыми образованиями со значительными включениями гальки. Коэффициенты фильтрации наиболее проницаемой, верхней части водоносного горизонта изменяются от 120 до 500 м/сут. Средний коэффициент фильтра-

ции 200 м/сут. Проницаемость галечников нижней зоны (40—70 м) порядка 10 м/сут. Ниже 70 м проницаемость отложений составляет 0,5—1 м/сут. Мощность зоны аэрации в естественных условиях изменяется от 6 до 10 м; фильтрационные свойства пород зоны аэрации не были изучены.

В песчано-галечниковой толще формируется сравнительно мощный поток пресных грунтовых вод с общей минерализацией 0,2—0,4 г/л гидрокарбонатно-кальциевого состава.

Первая очередь хранилища была построена в 1961 г. без изоляции дна, непосредственно на естественных грунтах. Намыв промстоков производился на поверхность, сложенную песчано-галечниковыми отложениями с хорошими фильтрационными свойствами. При этих условиях интенсивная инфильтрация промстоков очень быстро привела к загрязнению грунтовых вод. В этот период весь объем жидкости, сбрасываемой в хранилище, фильтровался через его дно и частично испарялся. Вторая очередь бассейна была построена в 1971 г., при этом по дну сооружения был укатан изолированный слой из глинистых пород. Однако и при этих условиях объем инфильтрующихся стоков составлял примерно 40—50 тыс м³/сут; в дальнейшем инфильтрация стоков сократилась вначале до 30 и затем до 10—15 тыс. м³/сут. После экранизации дна хвостохранилища фильтрация промстоков наблюдалась преимущественно вблизи дамбы. Эксплуатация хвостохранилища уже в первые годы привела к формированию ниже пионерной дамбы ореола загрязненных вод, который стал распространяться в потоке подземных вод со скоростью 10 м/сут. Загрязнение подземных вод изучалось по изменению степени их минерализации. Общая минерализация жидких промстоков непосредственно на участке сброса составляла от 1,5 до 2,5 г/л; однако вследствие испарения с площади хвостохранилища на выбросе общая минерализация стоков увеличилась до 10 г/л.

Изучение процесса загрязнения подземных вод проводилось путем стационарных наблюдений на опорной и вспомогательной сетях буровых скважин. На первом этапе была оборудована наблюдательная сеть непосредственно вблизи пионерной дамбы; в скважинах проводились гидродинамические и гидрогеохимические наблюдения с частотой в среднем 1 раз в 10—15 дней. На втором этапе, по мере продвижения по потоку ореола загрязнения, была оборудована дополнительная сеть наблюдательных скважин по лучевой системе, как это показано на рис. 42.

Глубина наблюдательных скважин определялась мощностью распространения хорошо проницаемых песчано-галечниковых водоносных пород примерно до 20—30 м; на всю эту глубину скважины оборудовались фильтрами. Отдельные наблюдательные скважины были пробурены на глубину 60—70 м с целью изучения условия миграции загрязнения в вертикальном разрезе.

Весь комплекс стационарных наблюдений (за уровнем и изменением минерализации подземных вод) производился в начальный период исследований 1—2 раза в месяц, а в дальнейшем

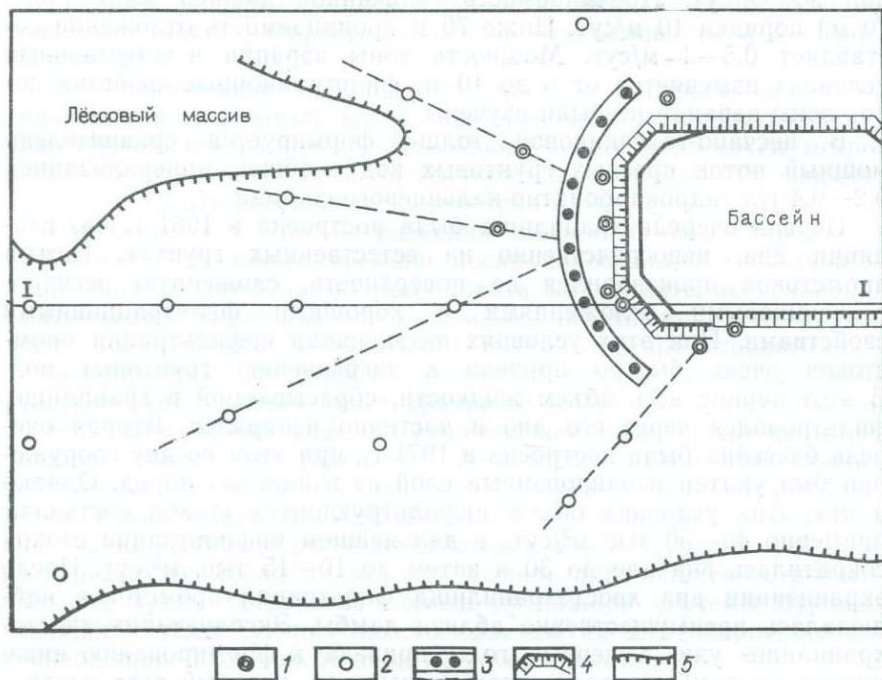


Рис. 42. Схема размещения наблюдательных и эксплуатационных скважин.

Наблюдательные скважины: 1 — I этапа изучения; 2 — II этапа изучения; 3 — эксплуатационные дренажные скважины; 4 — дамба; 5 — контур речной долины.
I-I — линия разреза

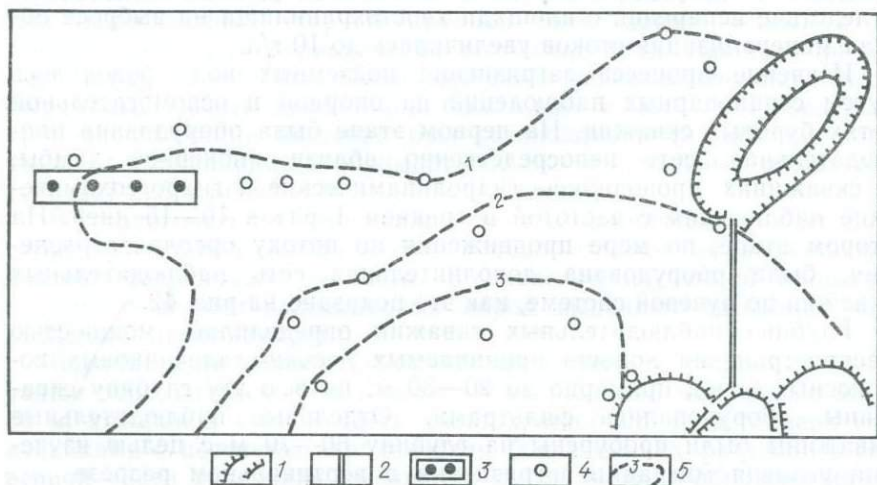


Рис. 43. Схема условий загрязнения подземных вод мелового горизонта.

1 — контуры шлакоаккумуляторов и отстойников; 2 — сбросной канал; 3 — водозабор; 4 — наблюдательная скважина; 5 — изолинии минерализации в г/л

промежуток времени наблюдений был увеличен до 1 раза в 2—3 месяца. Результаты режимных наблюдений позволили оценить изменение плановой структуры ореола загрязнения в различные периоды эксплуатации хвостохранилища. По этим данным периодически (примерно 1 раз в год) составлялись: карта гидроизо-гипс и линии токов подземных вод; гидрогеохимические карты и разрезы распространения общей минерализации подземных вод, формирующейся под влиянием фильтрации проток из хвостохранилища (рис. 43). Скорость распространения ореола загрязнения подземных вод по их минерализации составляла в среднем 120—150 м/год.

С целью защиты пресных подземных вод от загрязнения, по предложению ВНИИ ВОДГЕО, была запроектирована и построена вблизи пионерной дамбы дренажная система (рис. 44), состоящая из 45 взаимодействующих буровых скважин (29 рабо-

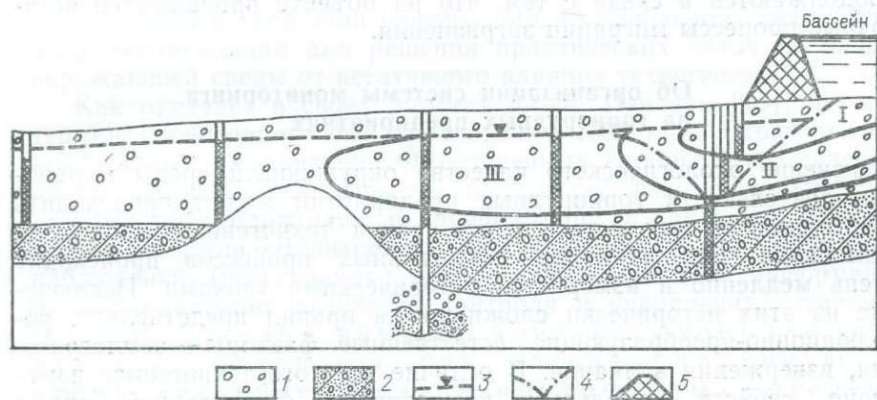


Рис. 44. Геолого-химический профиль по линии I—I (см. рис. 47).

Песчано-галечниковые отложения: 1 — хорошо проницаемые; 2 — слабопроницаемые; 3 — уровень подземных вод; 4 — депрессионная воронка на линии дренажа; 5 — пионерная дамба; I, II, III — зоны загрязненных подземных вод различной минерализации: I — более 3 г/л; II — более 1 г/л; III — 0,7—1 г/л

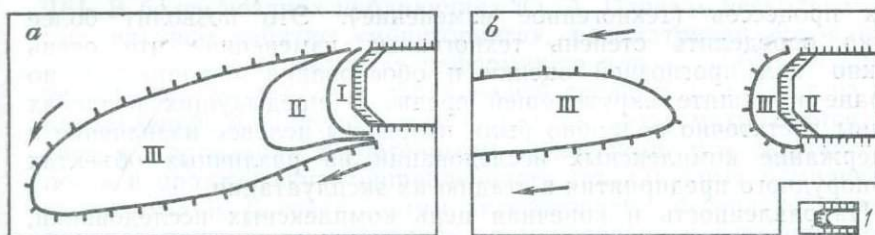


Рис. 45. Схема распространения минерализации подземных вод.

I — бассейн промышленных стоков. I, II, III — зоны распространения подземных вод с минерализацией: I — более 3 г/л; II — более 1 г/л; III — 0,7—1 г/л. Стрелками показано направление движения подземных вод

тающих и 16 резервных; расстояние между скважинами 250 м). Дренажные скважины были пробурены на глубину 60—70 м и оборудованы на всю глубину фильтрами. Откачиваемая загрязненная подземная вода в количестве до 25—30 тыс. м³/сут подавалась непосредственно на станцию повторного водоснабжения обогатительной фабрики. Принятые меры защиты позволили в значительной степени изолировать очаг загрязнения. Так, в 1975 г. ореол загрязнения распространился по потоку на значительное расстояние от хвостохранилища (рис. 45, а). В 1976 г. в результате принятых мер защиты произошел разрыв фронта распространения подземных вод с минерализацией от 0,7 до 1 г/л (см. рис. 45, б), что положительно отразилось на общей гидрологической обстановке изучаемой площади.

В 1983 г. хвостохранилище было законсервировано, однако стационарные наблюдения за режимом подземных вод на участке продолжают в связи с тем, что на объекте проявляются остаточные процессы миграции загрязнения.

Об организации системы мониторинга на горнорудных предприятиях

Изменение экологического качества окружающей среды в районах деятельности горнорудных предприятий может происходить под влиянием как естественных, так и техногенных процессов. Изменение под влиянием естественных процессов происходит очень медленно и измеряется историческими эпохами. Исключение из этих исторически сложившихся правил представляют революционно-преобразующие естественные факторы — землетрясения, извержения вулканов. В отличие от этого техногенное изменение свойств отдельных компонентов окружающей среды происходит значительно быстрее, хотя по своему содержанию эти изменения следует также отнести к эволюционным преобразованиям литосферы.

Необходим комплексный подход к изучению изменений экологического качества окружающей среды, которые происходят как под влиянием естественных (фоновых изменений), так и техногенных процессов (техногенное изменение). Это позволит более четко определить степень техногенных изменений, что очень важно для прогнозной оценки и обоснования мероприятий по охране и защите окружающей среды. В предыдущих разделах главы достаточно подробно были изложены целевое назначение и содержание комплексных исследований на различных объектах горнорудного предприятия в стадии их эксплуатации.

Направленность и конечная цель комплексных исследований, как подчеркивалось ранее, на всех основных объектах предприятия в обобщенном виде состоит в обеспечении безопасных условий промышленной обработки рудных месторождений, а также охраны и защиты экологического качества окружающей среды обитания и производственной деятельности трудящихся. Учитывая

необходимость координации большого комплекса исследований, которые проводятся в стадию эксплуатации рудных месторождений, обеспечение общего научно-методического руководства исследованиями, централизацию сбора, обработки и анализа гидрогеологической и инженерно-геологической информации, а также принятие оперативных мер для успешного решения основных задач, целесообразно на крупных горнорудных предприятиях создавать комплексную систему мониторинга.

В смысловом выражении мониторинг как научный термин следует понимать как систему регистрации, сбора какой-либо информации с целью обобщения, контроля и выдачи результатов обобщения потребителю. Применительно к проведению комплекса гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на рудных месторождениях в стадию их эксплуатации мониторинг — это система хорошо организованной и целенаправленной регистрации натуральных исследований режима подземных вод и техногенных процессов, сбор этой информации, ее обобщение, анализ и выдача рекомендаций для решения практических задач по защите окружающей среды от негативного влияния техногенеза.

Как отмечает в своих работах Ю. А. Израэль [13], научный термин «мониторинг» был предложен в 1972 г. на Стокгольмской конференции Организации Объединенных Наций. В его содержание в принципе вкладывается понятие «форма контроля».

Судя по публикациям в нашей стране, а также за рубежом, научный термин «мониторинг» трактуется не только как система наблюдений (регистрация) и получения первичной информации, но и как элемент активного контроля и управления изучаемым объектом. В целом научное понятие, очевидно, следует рассматривать как целенаправленную систему предупредительно-контрольных исследований, позволяющих получить информацию для прогноза и управления изучаемого процесса. Ю. А. Израэль [13] считает, что мониторингом правильно называть систему наблюдений, позволяющую выделить изменение состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности. Такое представление о мониторинге разделяет и академик И. П. Герасимов [6]. В более поздних публикациях Ю. А. Израэль несколько уточнил научное понятие «мониторинга», рассматривая его как систему, которая синтезирует информацию для выявления и оценки техногенных эффектов в окружающей среде. Как следует из этих определений, в системе мониторинга не предусматриваются прогноз и управление техногенными процессами, что снижает ценность и практическую направленность тех или иных комплексных исследований. В связи с этим целесообразно несколько уточнить научное понятие «мониторинг» применительно к изучению техногенных изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий в стадию промышленной отработки рудных месторождений. Комплексную систему мониторинга гидрогеологии рудных месторождений следует понимать как единую систему контрольных

натурных исследований (регистрация, наблюдение и сбор информации), целенаправленных на стационарное изучение техногенных процессов, негативное влияние которых приводит к изменению свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды обитания и производственной деятельности горняков.

Учитывая практическую направленность мониторинга, завершающим этапом комплексных исследований следует считать обобщение и анализ собранных материалов, прогнозную оценку техногенеза, а также гидрогеологическое обоснование мероприятий по защите окружающей среды. Следовательно, комплексная система мониторинга гидрогеологии рудных месторождений должна иметь контрольно-предупредительные функции. Поскольку натурные исследования на рудных месторождениях являются комплексными, мониторинг в данном случае следует рассматривать как многоцелевую информационную систему. Поэтому составной частью комплексных исследований является изучение техногенных процессов и режима подземных вод на всех объектах горнорудного предприятия, где формируется техногенез.

Таким образом, по своему содержанию комплексную систему мониторинга не следует рассматривать как принципиально новую систему натурных исследований, которая требует организации специальной сети наблюдений. Комплекс стационарных наблюдений и контроля за состоянием техногенного изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий при эксплуатации рудных месторождений и наблюдательная сеть (см. гл. 5, 6) должны целиком входить в информационную систему мониторинга. Мониторинг должен быть организован именно на базе опорной и вспомогательной сетей наблюдательных скважин и наблюдательных пунктов. Речь, следовательно, идет не о создании новой наблюдательной сети, а об упорядочении на горнорудном предприятии единой универсальной предупредительно-контрольной сети, предназначенной для комплексного стационарного изучения техногенных процессов на всех объектах в стадии их эксплуатации.

Для того чтобы более достоверно выделить мониторингом на отдельных объектах степень изменений, происходящих под негативным влиянием техногенеза, и затем более обоснованно принять меры защиты окружающей среды, необходимо также иметь информацию, характеризующую естественные изменения свойств отдельных компонентов природной обстановки (фоновое состояние). Поэтому при организации на предприятии комплексной системы мониторинга стационарная наблюдательная сеть должна охватывать также прилегающие к изучаемому объекту участки с целью изучения естественного режима подземных вод и геодинамических процессов. В этом, собственно, и состоит некоторое дополнительное требование к организации комплексной системы мониторинга на горнорудном предприятии.

Как показывает опыт эксплуатации рудных месторождений, комплексную систему мониторинга целесообразно создавать на

объектах, имеющих весьма сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия, отнесенные выше к третьей и четвертой группам геолого-промышленной классификации рудных месторождений (см. табл. 5).

Очень важным разделом комплексной системы мониторинга являются техническая оснащенность наблюдательной сети и автоматизация первичной документации режимных наблюдений (автоматизация регистрации и передачи информации на отдельные или централизованные пульта приема). В Советском Союзе в этом направлении накоплен опыт главным образом по автоматизации и регистрации средств шахтного водоотлива. Заслуживает внимания автоматизированная система управления всей службы осушения, действующая на Баконьских рудниках Ниродского бокситового месторождения в Венгерской Народной Республике. Это месторождение приурочено к сравнительно мощной толще карбонатных пород палеозоя, слагающих мульдообразную структуру. Рудовмещающие породы обладают очень высокой степенью водообильности. Месторождение отрабатывается шахтным способом под защитой внешних дренажных устройств. Система дренажных устройств носит площадный характер. Дренажные узлы, располагающиеся, как правило, в зонах наибольшей водообильности (на пересечениях тектонических нарушений), представляют собой буровые скважины-шахты диаметром 2 м, пройденные на глубину до 300 м; проходка дренажных выработок производится с помощью специальной буровой установки. Каждая скважина-шахта оборудована тремя-четырьмя электропогруженными насосами производительностью 450 м³/ч каждая.

Всего таких дренажных узлов на месторождении оборудовано 40. Суммарный отбор трещинно-карстовых вод составляет 18 тыс. м³/ч. За 21 год промышленной обработки бокситового месторождения уровень трещинно-карстовых вод снижен в горных выработках на 110 м. Наблюдениями было установлено, что для осушения 1 м горного массива в пределах горных выработок необходимо откачать около 20 млн. м³ рудничных вод.

Все наблюдения в системе осушительных устройств (наблюдения за уровнями, дебитом, температурой и т. д.), включая и наблюдения за работой насосного оборудования (автоматическое регулирование эксплуатацией), полностью автоматизированы, запрограммированы и управляются с помощью ЭВМ. Причем в систему мониторинга входит постоянный надзор за уровнями и дебитами минеральных вод, распространенных в курортной зоне оз. Балатон. В задачу общих исследований таким образом, должны входить контрольно-предупредительные функции, которые бы исключали влияние осушительных устройств на режим большой группы минеральных источников. В связи с этим на месторождении установлены контрольные абсолютные отметки уровней, ниже которых не допускается общее снижение трещинно-карстовых вод на месторождении. На предприятии все количество

откачиваемых трещинно-карстовых вод используется для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения.

Как показывает опыт, такая система гидрогеологического мониторинга позволяет иметь обширную информацию высокой достоверности, обеспечивает заданный режим осушения, экономит электроэнергию и надежную защиту горных работ от подземных вод, а также охрану окружающей среды от негативного влияния техногенеза.

Существенное значение в общей системе мониторинга имеет обработка материалов стационарных наблюдений, особенно при решении прогнозных задач по оценке негативного влияния техногенного изменения окружающей среды. При изучении условий формирования техногенеза некоторые прогнозные задачи могут быть решены аналитическими расчетами, разработанными для типовых схем (см. гл. 11). При решении комплексных прогнозных задач целесообразно пользоваться методом математического моделирования на ЭВМ.

В заключение отметим некоторые формы организации на рудных месторождениях мониторинга. Ответственным исполнителем в организации и проведении комплекса исследований и создании единой информационной системы должна быть гидрогеологическая служба предприятия, без которой фактически невозможно обойтись в стадии промышленной отработки рудных объектов, отнесенных нами по степени сложности к третьей и четвертой группам.

Однако, для успешного решения поставленных задач, гидрогеологическая служба должна быть наделена необходимыми правами, а также обеспечена техническими средствами.

Общее руководство мониторингом должен осуществлять главный геолог или главный инженер горнорудного предприятия.

В обобщенном виде ниже приведена принципиальная структура (основные направления и задачи) комплексных исследований системы мониторинга гидрогеологии рудных месторождений для стадии их промышленной отработки.

Основные направления комплексных исследований: 1) контрольный надзор за обеспечением безопасных гидрогеологических и инженерно-геологических условий промышленной отработки месторождения; 2) стационарное изучение техногенного изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий при эксплуатации всех объектов горнорудного предприятия; 3) охрана и защита свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды обитания и производственной деятельности человека.

Основные задачи комплексных исследований: 1) сбор, обобщение и анализ первичной гидрогеологической и инженерно-геологической информации; 2) предупреждение о возможном изменении безопасных условий отработки рудного месторождения, а также негативном влиянии техногенеза; 3) прогнозная оценка

возможного развития (тенденции развития) техногенеза, обоснование и внедрение предупредительных мер охраны и защиты окружающей среды.

Глава 10

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общие задачи и методические приемы их решения

Завершающим этапом комплексных исследований в стадию эксплуатации рудных месторождений является камеральная обработка гидрогеологических и инженерно-геологических материалов, техногенных процессов и первичной документации горных выработок. Общая направленность камеральных работ четко определяется основными задачами, краткое содержание которых и методические приемы их решения рассмотрены ниже.

В области изучения гидрогеологических условий проходки горных выработок камеральную обработку материала целесообразно выполнять в следующих направляющих.

1. По данным накопленного опыта эксплуатации рудного объекта произвести переоценку сложившихся гидрогеологических и инженерно-геологических условий в стадию промышленной отработки месторождения. Эта задача может быть решена путем уточнения ранее составленных (на стадии разведки объекта) крупномасштабных карт и разрезов, отражающих техногенные изменения в условиях распространения основных водоносных горизонтов, питания и разгрузки подземных вод, связи подземных и поверхностных вод, формирования депрессионной воронки, гидрологической роли тектонических нарушений в обводнении горных выработок, а также других граничных условий фильтрационного потока.

Такие карты позволяют периодически оценивать степень техногенного изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий, формирующихся под влиянием осушения горных работ, а также степень влияния осушения месторождения на изменение свойств геологической и окружающей среды в целом. Результаты такого анализа могут быть использованы для уточнения мер защиты окружающей среды от негативного влияния техногенеза. При составлении карт техногенных изменений могут быть использованы действующие традиционные методические приемы.

2. Охарактеризовать выявленные в стадию эксплуатации объекта общие закономерности водоносности рудовмещающих пород и надрудной толщи (в плане и разрезе), условия обводнения горных выработок путем анализа погоризонтных гидрогеологиче-

ских планов или планов бортов карьера. Общие закономерности могут быть использованы для оценки гидрогеологических условий проходки горных выработок, проектируемых на глубокие горизонты. В этот анализ входит построение различных вспомогательных графиков, отражающих условия формирования (максимальных, минимальных, среднегодовых) временного прослеживания водопритоков раздельно по флангам месторождения, отдельным горизонтам, пройденным на различную глубину в аналогичных геолого-гидрогеологических условиях и т. д. В целом обработка и анализ таких материалов могут позволить охарактеризовать условия и степень обводнения горных работ в целом и по всей площади их развития, выявить наиболее обводненные зоны, изменение водопритоков с глубиной. Эти данные могут быть использованы для уточнения схемы расположения наблюдательных пунктов в подземных горных выработках, а также для разработки дополнительных мероприятий по их защите от обводнения.

3. Оценить инженерно-геологические (горнотехнические) условия проходки и эксплуатации подземных горных выработок или бортов карьера путем составления погоризонтных планов (трещиноватости горных пород, тектонической нарушенности, устойчивости в выработках, проявления техногенных процессов и т. д.). Такие планы можно совместить с гидрогеологическими планами обводненности и затем выработать мероприятия по защите горных выработок от геодинамических процессов.

4. Уточнить основные источники обводнения горных выработок, оценить их балансовую структуру путем анализа гидрогеологических условий месторождения и балансовых исследований. В связи с этим целесообразно выполнить построения комплексных графиков, отражающих изменения во времени общих водопритоков (в целом по шахтному или карьерному полю), уровня подземных вод на различных участках площади депрессионной воронки, атмосферных осадков и режима поверхностного стока местной речной сети (рис. 46). При наличии необходимой информации задача может быть решена путем расчленения гидрографа водопритоков. Анализ таких материалов может быть использован для разработки дополнительных мер защиты горных работ от обводнения, а также уточнения схемы расположения наблюдательных постов режимной сети.

5. Периодически оценивать эффективность работы внутришахтных (внутрикарьерных) и внешних осушительных устройств, призванных обеспечить опережающее осушение горных работ и безопасные условия отработки месторождения. Такие задачи могут быть решены путем анализа графиков, характеризующих режим общей производительности дренажных скважин и уровня подземных вод на площади горных разработок, построенных в координатах $\sum Q_{др} = f(t)$, $S = f(r, t)$, сравнения этих данных с прогнозными (проектными) данными, а также с фактическим положением сложившихся условий осушения. Такой сравнительный анализ совместно с данными технического состояния осуши-

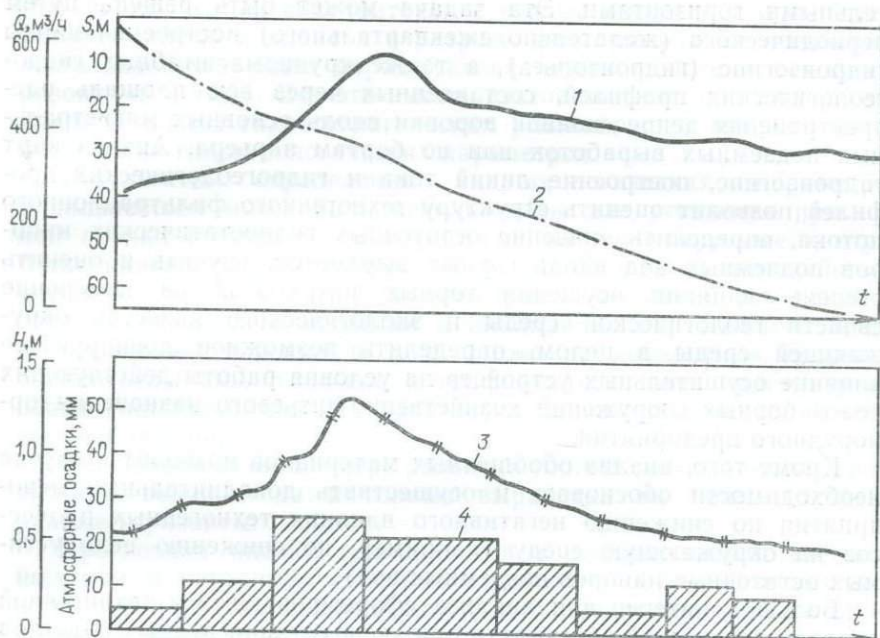


Рис. 46. Комплексные графики:

1 — общие водопритоки (Q); 2 — уровень подземных вод (S) в центре горных разработок; 3 — уровень воды (H) в реке; 4 — атмосферные осадки

тельных устройств позволяет определить степень осушения горных разработок, безопасные условия их проходки, выявить причины неудовлетворительной работы осушительных устройств и в случае необходимости принять дополнительные меры по повышению эффективности осушения горных разработок.

6. Периодическая оценка качества рудничных вод и его изменения по времени под влиянием техногенных процессов. Эта задача является очень важной и может быть решена путем анализа режимных наблюдений за химическим и санитарно-бактериологическим составом рудничных вод, путем построения графиков изменения во времени общей минерализации M рудничных вод в координатах $M=f(t)$, а также содержания в воде вредных компонентов. Такой анализ позволит решить некоторые практические задачи по использованию рудничных вод для производственного водоснабжения или орошения, а также позволит оценить условия сброса рудничных вод на поверхность с учетом требований охраны окружающей среды.

7. Определить условия формирования по площади депрессионной воронки сниженных уровней подземных вод, структуру фильтрационного потока и значение остаточных (законсервированных) гидростатических напоров над основными рабочими и подготови-

тельными горизонтами. Эта задача может быть решена путем периодического (желательно ежеквартального) построения карты гидроизогипс (гидроизопьез), а также крупномасштабных гидрогеологических профилей, составленных через всю площадь распространения депрессионной воронки вдоль основных магистральных подземных выработок или по бортам карьера. Анализ карт гидроизогипс, построение линий тока и гидрогеологических профилей позволит оценить структуру техногенного фильтрационного потока, определить значение остаточных гидростатических напоров подземных вод вдоль горных выработок, изучить и оценить степень влияния осушения горных разработок на изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды в целом, определить возможное дренирующее влияние осушительных устройств на условия работы действующих водозаборных сооружений хозяйственно-питьевого назначения горнорудного предприятия.

Кроме того, анализ обобщенных материалов позволит в случае необходимости обосновать и осуществить дополнительные мероприятия по снижению негативного влияния техногенных процессов на окружающую среду (например, по снижению недопустимых остаточных напоров подземных вод).

Большой интерес для анализа сформировавшейся техногенной гидрогеологической обстановки при эксплуатации рудных объектов имеют карты распространения площадей различных значений мощности осушенных водоносных пород в пределах депрессионной воронки. Такие специализированные карты, по существу, характеризуют строение техногенной зоны аэрации и изменение условий питания водоносного горизонта.

8. Уточнить значение гидрогеологических параметров водовмещающих пород по данным стационарных режимных наблюдений. Эта задача должна быть решена путем обработки гидрогеологических материалов по системе наблюдательных скважин, характеризующих режим производительности осушительных устройств (внешних и внутришахтных) и режим уровня подземных вод за тот же промежуток времени наблюдений. По результатам обработки материалов определение гидрогеологических параметров пласта можно выполнить простыми аналитическими расчетами графоаналитическим методом и в сложных условиях — с помощью метода математического моделирования [3, 27, 29].

В гидродинамическом отношении исследования в области уточнения гидрогеологических параметров по данным режимных наблюдений являются очень важными. Известно, что длительное во времени мощное возмещение потока системой дренажных устройств всегда дает большую и надежную гидрогеологическую информацию, чем любая опытная откачка, проведенная в стадию разведки рудного месторождения. Многолетняя работа дренажных устройств оказывает существенное влияние на закономерность режима уровня, при этом проявляется совокупность всех природных факторов реальной обстановки, определяющих усло-

вия формирования водопритоков в горные выработки (граничные условия потока в плане и в разрезе, фильтрационная неоднородность водовмещающих пород, условия взаимодействия между горизонтами и т. д.). Все это вместе взятое позволяет не только выполнить анализ гидрогеологических условий, но и выбрать метод переоценки гидрогеологических параметров.

Результаты определения гидрогеологических параметров в дальнейшем могут быть использованы для уточнения прогнозной оценки возможных водопритоков на проектируемые к отработке нижние рудные горизонты, оценки условий взаимодействия осушительных устройств и водозаборных сооружений, прогнозной оценки дальнейшего развития и влияния на окружающую среду депрессионной воронки и т. д. Ниже на конкретных примерах рассмотрены аналитические и графоаналитические приемы уточнения гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений.

9. Периодически, по мере развития горных работ, уточнять возможные водопритоки в горные выработки на более глубокие рудные горизонты.

Прогнозная оценка водопритоков в горные выработки (при шахтном и карьерном способах отработки) обычно выполняется в стадии проектирования горнорудного предприятия, когда определяется принципиальная схема осушения объекта. Однако, несмотря на это, в стадию эксплуатации рудного месторождения по данным режимных наблюдений целесообразно периодически производить корректировку ранее выполненных прогнозных оценок, что позволит в случае необходимости внести необходимые изменения в схему осушения горных разработок. При наличии достаточного объема гидрогеологической информации уточнение прогнозных общих водопритоков на глубокие горизонты допустимо выполнять гидравлическим способом, используя для этого зависимость общих водопритоков от понижения уровня, отраженную на графике, построенном в координатах $\Sigma Q = f(S)$. График этот характеризует эмпирическую закономерность, установленную опытным путем при осушении горных выработок во время отработки верхних горизонтов. На некоторых объектах может быть использован гидродинамический метод. Вместе с этим в практике промышленной отработки рудных месторождений возможны сложные гидрогеологические условия (например, отработка месторождений, отнесенных к третьей и четвертой группам, — см. табл. 5). В таких случаях корректировку прогнозных общих водопритоков в горные выработки на нижние горизонты целесообразно выполнять методом математического моделирования (см. гл. 12).

10. Обработка материалов по температурному режиму подземных вод и горных пород необходима для общей оценки протекающих в горных выработках некоторых гидрогеологических процессов. В этом направлении можно рекомендовать составление совмещенных графиков, отражающих изменение во времени и с глубиной температуры T рудничных вод, связь с температурой

горных пород, с процессами окисления рудной минерализации и т. д. (графики $T=f(t)$; $T=f(S)$). Необходимо при этом помнить, что изучение температурного режима рудничных вод проводится в условиях существенного нарушения естественного теплового поля. Поэтому сравнительная оценка данных температуры подземных вод в естественных и нарушенных условиях может позволить в ряде случаев определить, например, источники формирования водопритоков в горные выработки.

11. Произвести сравнительную оценку ранее выполненных в стадии разведки прогнозных гидрогеологических расчетов с фактическими данными, полученными в стадии промышленной его отработки. Эта задача состоит в том, чтобы сравнительным методом оценить степень и достоверность ранее выданных гидрогеологических прогнозов по оценке водопритоков, степени влияния на окружающую среду, выявить причины несовпадения прогнозных данных с фактическими и т. д. Задача может быть решена путем сопоставления гидрогеологических параметров водоносных горизонтов, водопритоков в горные выработки, производительности осушительных устройств и величины понижения уровня подземных вод, гидрогеохимических данных и др. Такая сравнительная оценка является очень важной для накопления необходимых материалов и последующего совершенствования собственной методики проведения гидрогеологических работ в стадии разведки рудных месторождений.

12. Составление оперативной отчетности о результатах проведенных комплексных исследований является неотъемлемой частью камеральных работ. Как показывает практика гидрогеологической службы Минцветмета, оперативные результаты исследований целесообразно оформлять в форме ежеквартальных и годовых отчетов. В оперативных отчетах необходимо освещать сложившуюся на предприятии гидрогеологическую обстановку (режим водопритоков по горизонтам, флангам и в целом по руднику, положение над горными выработками остаточных гидростатических напоров, изменения в химическом и санитарно-бактериологическом составе, агрессивность рудничных вод, эффективность работы действующих осушительных устройств, степень проявления техногенных процессов и их влияния на ухудшение условий промышленной обработки месторождения и т. д.). Особый раздел в оперативных отчетах должен быть посвящен дополнительным рекомендациям, разработанным гидрогеологической (геологической) службой предприятия по дальнейшему развитию режимной сети, по улучшению безопасных условий проходки горных выработок, улучшению работы осушительных устройств и защите окружающей среды от негативного воздействия техногенеза.

В области изучения режима подземных вод на водозаборных участках камеральную обработку материалов целесообразно вести в следующих направлениях.

1. Обработка первичной документации гидродинамических и гидрогеохимических стационарных наблюдений за режимом под-

земных вод путем составления графиков, отражающих изменение во времени; дебита эксплуатационных скважин и всего водозабора в целом; динамического уровня подземных вод отдельно по наблюдательным скважинам, в центре водозабора и по площади депрессионной воронки; температуры подземных вод, общей их минерализации, химического и бактериологического составов. Для инфильтрационных водозаборов необходимо составить график, характеризующий режим поверхностного стока в реке. Такие графики характеризуют режим работы водозабора и необходимы в дальнейшем не только для оперативной отчетности, но и для последующего анализа опыта эксплуатации подземных вод.

2. Уточнение гидрогеологических параметров водоносного пласта по данным режимных наблюдений: (проводимости пласта, коэффициента фильтрации, коэффициентов уровня- или пьезопроводности). В случае если водозабор работает в условиях нестационарного режима фильтрации и для инфильтрационных водозаборов значение параметра ΔL характеризует дополнительное гидравлическое сопротивление ложа реки, уточнение гидрогеологических параметров можно выполнить так же, как и в предыдущем случае, аналитическими, графоаналитическими расчетами и в сложных гидрогеологических условиях крупных взаимодействующих групповых водозаборов — методом математического моделирования. Ниже на конкретном примере действующего водозабора рассмотрены некоторые методические приемы определения гидрогеологических параметров по данным режимных наблюдений.

3. Изучение условий формирования нарушенного режима и структуры фильтрационного потока на площади влияния водозабора путем периодического построения гидродинамической сети. Эта сетка состоит из карты гидроизогипс (гидроизопьез), отражающей линии равных напоров и линии тока (построенных перпендикулярно к линиям равных напоров), характеризующих структуру потока на площади депрессионной воронки. Такие карты, построенные на различные периоды эксплуатации водозабора, довольно четко могут отражать условия деформации потока в плане, неоднородность фильтрационных свойств продуктивного пласта, направление и скорость потока, а также степень влияния каптажного сооружения на окружающую среду.

4. Анализ режима эксплуатации водозаборного сооружения путем сопоставления гидрогеологических материалов, характеризующих режим водоотбора действующего каптажа с данными разведки месторождения и прогнозной оценки эксплуатационных запасов подземных вод, утвержденных в ГКЗ СССР. Сравнительная оценка должна производиться по следующим основным параметрам: дебиту скважин (каждой скважины в отдельности и суммарно по водозабору), понижению уровня, общей минерализации и содержанию основных компонентов, характеризующих качество подземных вод, а также по температурному режиму и гидрогеологическим параметрам продуктивного водоносного

горизонта. Такой анализ позволит оценить степень достоверности разведанных запасов подземных вод.

Сравнительную оценку целесообразно выполнять вначале путем сопоставления гидрогеологических данных в форме различных таблиц, а затем в форме построения совмещенных графиков. При анализе очень важно сравнить гидрогеолого-технические проектные данные с фактическими, а именно: глубины заложения эксплуатационных скважин, их конструкцию, условия оборудования фильтрами, расстояния между скважинами и состояние технического оборудования. После того как была выполнена в систематизированном виде сравнительная оценка, необходимо путем их анализа установить соответствие или несоответствие опыта эксплуатации водозабора проектным прогнозам, составленным по результатам разведки месторождения подземных вод. В случае обнаружения несоответствия режима эксплуатации в худшую сторону, очень важно установить гидрогеологические или технические причины выявленной, например, тенденции понижения уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах ниже допустимого его значения для данного водозабора. Эта тенденция может привести к негативным последствиям и необходимости принятия мер защиты подземных вод от истощения их эксплуатационных запасов. Своевременный анализ режима эксплуатации, таким образом, может позволить постоянно регулировать работу водозабора и обосновать наиболее рациональные условия отбора подземных вод, что очень важно для обеспечения условий бесперебойного обеспечения водоснабжения объекта. Выше неоднократно подчеркивалось, что в практике промышленной отработки собственно рудного месторождения могут возникнуть техногенные процессы взаимодействия осушительных устройств с действующими водозаборами. При анализе режима эксплуатации водозабора необходимо исследовать эти техногенные процессы. Это позволит своевременно принять меры по регулированию условий хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятия [27].

5. Оценить условия возможного увеличения общей производительности действующего водозабора в связи с дополнительной потребностью в воде предприятия. В практике горных предприятий такая необходимость возникает довольно часто. Эта задача может быть решена путем переоценки эксплуатационных запасов подземных вод по данным режимных наблюдений и результатов анализа режима эксплуатации водозабора. Исследования в этом направлении могут быть решены либо методом аналитических расчетов (для простых гидрогеологических условий), либо методом математического моделирования (для сложных условий). Результаты таких исследований должны быть использованы для постановки на водозаборном участке дополнительных гидрогеологических работ и последующей реконструкции каптажного сооружения. Что же касается оценки (в случае необходимости) искусственного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод,

то для решения этой задачи должны быть проведены специальные полевые исследования [28].

В области изучения условий загрязнения подземных вод на участках эксплуатации бассейнов — накопителей промстоков общее направление камеральной обработки материалов четко определяется контрольно-предупредительным и прогнозным назначением стационарных исследований.

1. Предварительная обработка собранных материалов в форме составления таблиц и различных графиков, отражающих в систематизированном виде первичную документацию гидродинамических и гидрогеохимических исследований (изменение во времени уровней и температуры подземных вод, общей их минерализации и содержания токсичных компонентов, результаты планово-высотной увязки наблюдательной сети и т. д.).

2. Составление карт по результатам систематизации карт гидроизогипс и линий тока фильтрационного потока с целью оценки условий формирования структуры, направления движения потока и уточнения важного параметра — естественной скорости подземных вод. Такие карты характеризуют гидродинамическую сетку фильтрации загрязненных вод, составление их рекомендуется выполнять на различные периоды времени не реже двух раз в год, учитывая контрольные функции комплексных исследований.

3. Составление специализированных гидрогеохимических карт участка исследований; сюда входят карты изменения по площади на определенный период наблюдений общей минерализации, температуры подземных вод и содержания токсичных компонентов. Перечисленные выше карты могут быть использованы для оперативных прогнозов продвижения фронта загрязнения.

4. Схематизация гидрогеологических условий участка исследований в типовую или оригинальную расчетную схему. Сущность гидрогеологической схематизации состоит в том, что реальная природная обстановка участка преобразуется в геофильтрационную схему, отражающую основные граничные условия потока в плане и разрезе. К основным граничным условиям в плане следует отнести реки, водоемы, бассейны — накопители промстоков, крупные тектонические нарушения, играющие роль в гидрогеологических условиях, сосредоточенный родниковый сток, фильтрационную неоднородность водоносных пород и др. В разрезе должно быть отражено строение водоносного горизонта, мощность, фильтрационные свойства, а также характер подстилающих и поровных образований.

Исследования в этом направлении позволяют использовать расчетную схему и типовые расчетные зависимости для долгосрочного прогноза продвижения фронта загрязнения в подземных водах и в случае необходимости своевременно принять меры защиты изучаемого объекта от загрязнений. При сложных гидрогеологических условиях изучаемого участка долгосрочный прогноз целесообразно выполнять методом математического моделирования.

Анализ режима водопритоков в горные выработки

Важным разделом обобщения и систематизации первичной гидрогеологической информации является анализ режима общих водопритоков в горные выработки. Возможные общие водопритоки $Q_{\text{общ}}$ в систему горных работ (в карьер или шахтное поле) могут быть охарактеризованы следующим балансовым уравнением:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{ер}} + \frac{Q_{\text{ез}}}{t} + \frac{Q_{\text{уз}}}{t} + \Delta Q_{\text{пр}},$$

где $Q_{\text{ер}}$ — естественные ресурсы подземных вод водоносных горизонтов, подлежащих осушению в стадию эксплуатации рудного месторождения; $Q_{\text{ез}}$, $Q_{\text{уз}}$ — естественные и соответственно упругие запасы подземных вод тех же горизонтов; $\Delta Q_{\text{пр}}$ — привлекаемые ресурсы за счет дренирования поверхностных вод или за счет перетекания подземных вод из водоносных горизонтов надрудной толщи; t — время.

При карьерной отработке рудных месторождений периодическим источником обводнения могут быть ливневые воды. Изучение и оценка балансовой структуры водопритоков в горные выработки являются очень важным разделом камеральной обработки материалов комплексных исследований. Оценка источников формирования водопритоков в карьерное или шахтное поле позволяет уточнить систему защиты горных разработок от подземных и поверхностных вод, а также скорректировать направление режимных исследований и схему расположения наблюдательных пунктов.

Анализ режима водопритоков в систему горных выработок целесообразно выполнять с помощью комплексных графиков $\Sigma Q = f(t)$, отражающих изменения общих водопритоков во времени, графиков режима уровней подземных вод наблюдательных скважин, расположенных на различных участках депрессионной воронки (в центре и на периферии) $S_{\text{п}} = f(r, t)$, а также основных режимобразующих факторов (атмосферные осадки и данные по стоку поверхностных вод).

Собранные гидрогеологические материалы по рудным месторождениям позволяют отметить следующие основные закономерности формирования общих водопритоков в карьеры или в систему подземных горных выработок в соответствии с геолого-промышленной группировкой рудных объектов (см. табл. 5).

К рудным месторождениям первой группы относятся месторождения с простыми гидрогеологическими условиями, в их рудомещающих интрузивных и метаморфических породах распространены трещинно-грунтовые воды зоны выветривания и трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений, естественные ресурсы и естественные запасы которых являются весьма ограниченными. На рис. 47 представлен график режима водопритоков и уровня подземных вод Сибайского карьера. Характерным

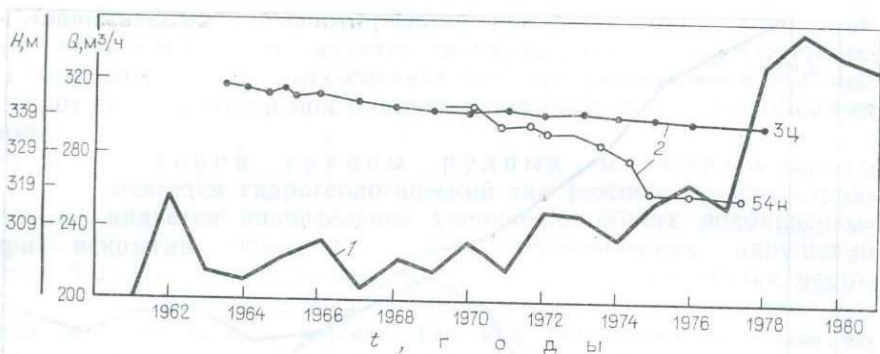


Рис. 47. Графики режима водопритоков (1) и уровней в наблюдательных скважинах (2) Сибайского карьера

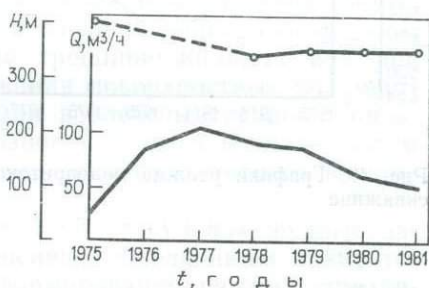


Рис. 48. Графики режима водопритоков (1) и уровней (2) в наблюдательной скважине

для этого типа режима является постепенное, но незначительное увеличение общих водопритоков по мере ежегодного углубления карьера, формирование которых происходит за счет осушения водоносных рудовмещающих пород и, следовательно, сработки естественных запасов трещинно-грунтовых вод. Начиная с 1975 г. в водоприток карьера были вовлечены поверхностные воды, что на графике отражено скачкообразным увеличением водопритоков. Наблюдательная скважина 54н (см. рис. 47), расположенная вблизи карьера, довольно четко отражает скачкообразный режим уровня в зоне активного возмущения фильтрационного потока. По наблюдательной скважине 3ц, расположенной вдали от карьера режим уровня характеризуется плавным графиком.

На другом рудном месторождении, расположенном на Дальнем Востоке (рис. 48), такой же характер режима водопритоков наблюдался до 1977 г., затем обводненная зона метаморфических рудовмещающих пород была полностью осушена, и с углублением горных выработок общие водопритоки стали постепенно уменьшаться за счет изменения условий питания водоносных пород; влияния поверхностных вод на обводнение горных выработок не наблюдалось. Такой характер режима водопритоков довольно четко отражается и на графике водопритоков на одном Уральском рудном месторождении (рис. 49). До 1978 г. при проходке карьера в зоне распространения трещинно-грунтовых вод наблю-

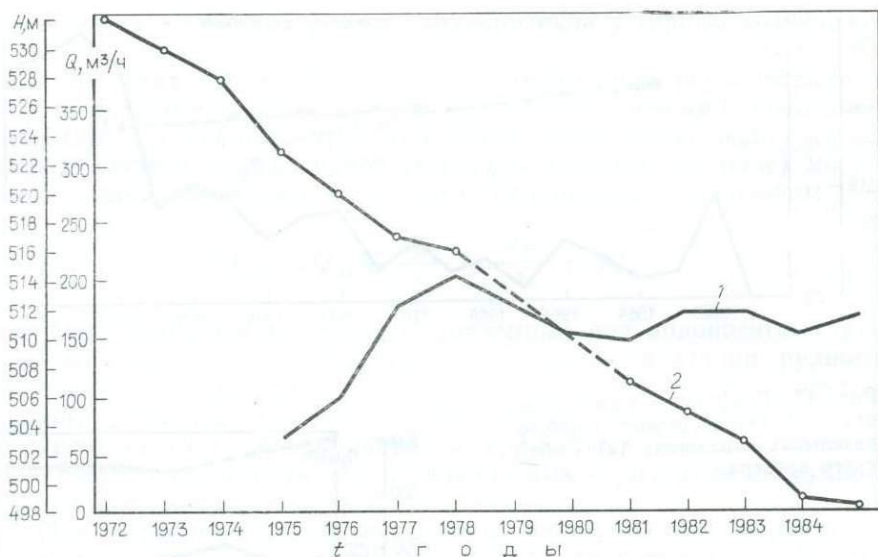


Рис. 49. Графики режима водопритоков (1) и уровней (2) в наблюдательной скважине

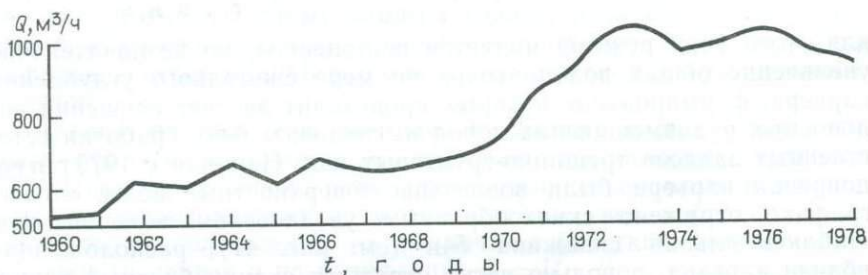


Рис. 50. График режима водопритоков

далось довольно заметное увеличение общих водопритоков. Ниже этой зоны в рудовмещающих породах отмечается слабая их обводненность, ресурсы трещинно-жильных вод являются весьма ограниченными. Поэтому в последующее продолжительное время отработки месторождения рост общих водопритоков не наблюдался. Уровень подземных вод постоянно понижался и в последний период почти стабилизировался.

Примерно такой же характер формирования режима суммарных водопритоков отмечается на других рудных объектах первой группы, расположенных на Урале, Кавказе, в Средней Азии, Центральном Казахстане, Сибири, на которых рудовмещающими породами являются интрузивные или метаморфические породы.

Описываемый тип формирования режима водопритоков в горные выработки можно назвать преимущественно гидрогеологическим, хотя в некоторых случаях этот тип режима несколько изменяет свой характер под влиянием инфильтрации поверхностных вод.

Для второй группы рудных месторождений также отмечается гидрогеологический тип режима, однако характерным является значительное увеличение общих водопритоков при вскрытии обводненных зон тектонических нарушений (рис. 50). На графике видно, что при карьерной отработке месторождения с 1960 по 1969 г. наблюдался незначительный рост общих водопритоков в карьер, так как основными источниками формирования водопритоков в этот период были естественные ресурсы и естественные запасы трещинно-грунтовых вод рудовмещающих метаморфических пород. Затем, по мере развития горных работ, карьером были вскрыты интенсивно обводненные зоны тектонических нарушений; питание трещинно-жильных вод при этом происходило за счет дренирования поверхностных вод местной речной сети. В обводнение были вовлечены трещинно-жильные воды, и общие водопритоки возросли более чем вдвое. Затем наступила фаза незначительного изменения водопритоков во времени.

Для месторождений третьей группы, рудные залежи которых приурочены к интенсивно обводненным закарстованным карбонатным породам, в формировании режима суммарных водопритоков четко выделяются две разновидности. Первая разновидность была выявлена на рудном месторождении, на площади которого распространена местная речная сеть непосредственно в пределах депрессионной воронки. В этих условиях весьма характерным является тесная гидравлическая связь между трещинно-карстовыми и поверхностными водами. Местная речная сеть имеет снего-дождевое питание. Кратковременное действие поверхностных вод (2—2,5 мес в году) проявляется в форме бурного кратковременного весеннего паводка, оказывающего существенное влияние на формирование максимальных водопритоков в горные выработки. Режим подземных вод при этом в значительной степени обуславливается режимом выпадающих атмосферных осадков и поверхностного стока. При таких природных условиях водопритоки в систему подземных горных выработок в годовом и многолетнем разрезе определяются не только гидрогеологическими особенностями рудного месторождения, описанными выше, но и гидрометеорологическими и гидрологическими факторами; формируется достаточно тесная зависимость между величиной водопритоков и режимобразующим фактором. На рис. 51 представлен комплексный график, на котором четко отмечается генетическая связь максимальных водопритоков с поверхностным стоком, а на рис. 52 эта связь подтверждается и данными режима поверхностного стока местной гидрографической сети за 16-летний период с начала ведения горных работ.

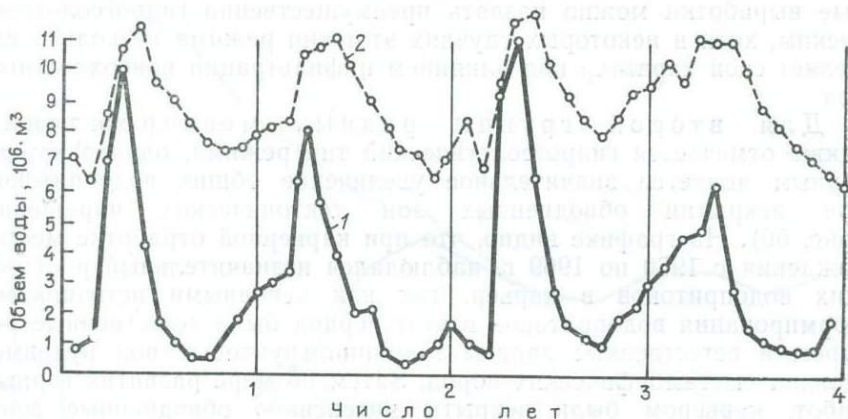


Рис. 51. Графики потерь поверхностного стока (1) и общих водопритоков (2) в систему подземных горных выработок

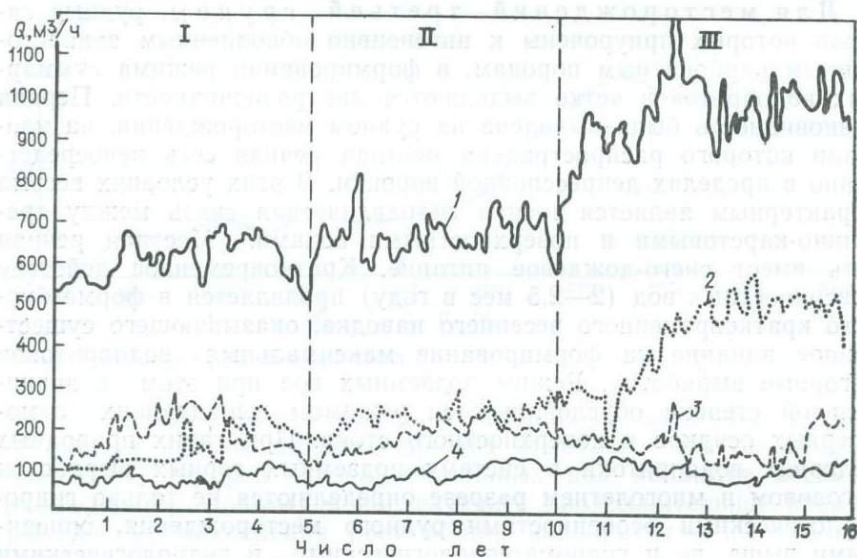


Рис. 52. Графики колебания водопритоков по Юго-Восточной залежи (1), по Маслянской промзоне (2), по Заводской залежи (3) и поверхностного стока (4) по месторождению.

I, II, III — этапы развития горных работ

В рассматриваемых условиях четко определяется интенсификация питания водоносного горизонта.

При таких условиях суммарные водопритоки в горные выработки формируются за счет трех источников: естественных ресурсов и естественных запасов трещинно-карстовых вод, привлекаемых ресурсов и инфильтрации паводковых расходов местной речной сети. В многолетнем режиме суммарных водопритоков отмечается следующая закономерность: а) в период с 1948 по 1964 г. (рис. 53), по мере развития горных разработок, пройденных на различных горизонтах, четко отмечается довольно заметный рост общих водопритоков, при этом инфильтрация паводковых расходов рек еще не оказывала существенного влияния на режим водопритоков, поэтому на графике не выделяются максимальные водопритоки в форме пиков. В этот период происходило развитие региональной депрессионной воронки, которая к 1968 г. достигла некоторых основных границ водоносного горизонта с юга и севера. В этот период существенную роль в формировании водопритоков играл горнотехнический фактор.

В период с 1968 по 1984 г. отмечается другая характерная закономерность, несмотря на дальнейшее развитие горных работ (главным образом на глубину), — значение минимальных водопритоков в целом по шахтному полю примерно стабилизировалось. При этом на фланге депрессионной воронки уровня трещинно-карстовых вод продолжали снижаться во времени (продолжался

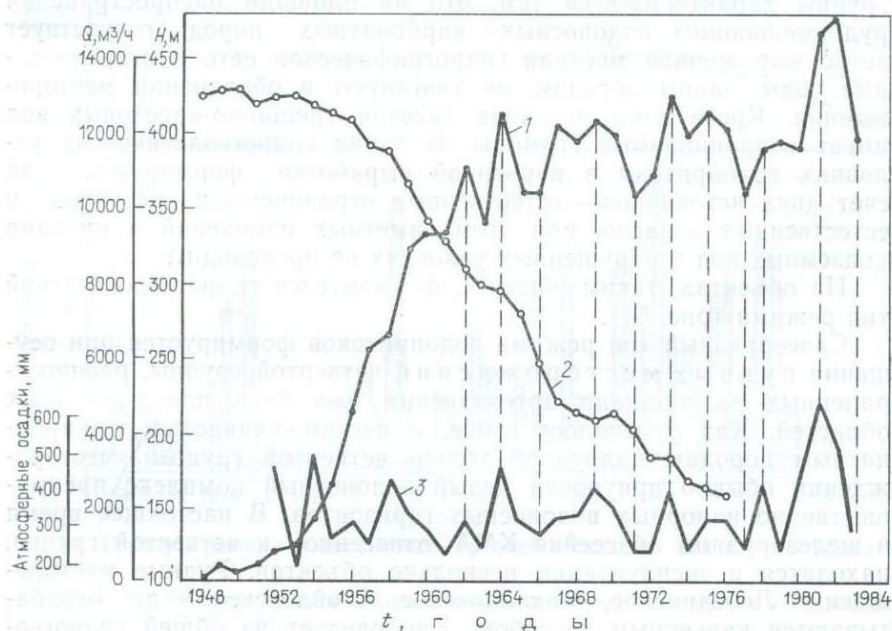


Рис. 53. Комплексный график:

1 — общие водопритоки; 2 — изменение уровней подземных вод; 3 — атмосферные осадки

процесс осушения пласта). Период формирования минимальных водопритоков продолжается примерно с июня по декабрь и характеризуется как период независимого режима, когда трещинно-карстовые воды толщи карбонатных пород не получают никакого питания. Следовательно, общие водопритоки в этот период характеризуют, по существу, величину естественных ресурсов и естественных запасов подземных вод. Анализ данных режимных наблюдений показал, что величина минимальных водопритоков соответствует суммарному значению родникового стока, существовавшему в естественных условиях. Родниковый сток, таким образом, был полностью сдренирован при осушении глубоких рудных горизонтов. Что же касается максимальных водопритоков, отраженных в виде пиков на комплексном графике (см. рис. 53), то они характеризуют преимущественно величину привлекаемых паводковых расходов рек, режим которых изменяется от водности гидрологического года. Характерным для этой группы месторождений является также формирование над горными выработками остаточного гидростатического напора, что обуславливает предпосылки для внезапных прорывов трещинно-карстовых вод. Такой режим водопритоков можно отнести в гидрогеолого-гидрологическому типу, когда на их формирование существенно оказывают влияние гидролого-метеорологические факторы и в меньшей степени емкостные запасы трещинно-карстовых вод.

Вторая разновидность режима на рудных объектах третьей группы характеризуется тем, что на площади распространения рудовмещающих водоносных карбонатных пород отсутствует четко выраженная местная гидрографическая сеть и поверхностные воды, таким образом, не участвуют в обводнении месторождения. Кроме того, в плане бассейн трещинно-карстовых вод имеет непроницаемые границы. В таких гидрогеологических условиях водопритоки в карьерной выработке формируются за счет двух источников — естественных ограниченных ресурсов и естественных запасов, при этом заметных изменений в питании подземных вод в нарушенных условиях не происходит.

На объектах, таким образом, формируется гидрогеологический тип режима (рис. 54).

Своеобразный тип режима водопритоков формируется при осушении рудных месторождений четвертой группы, распространенных на площади артезианских бассейнов платформенных областей. Как отмечалось выше, к песчано-глинистым и карбонатным породам надрудной толщи четвертой группы месторождений обычно приурочен целый водоносный комплекс преимущественно напорных водоносных горизонтов. В настоящее время в железорудном бассейне КМА, отнесенном к четвертой группе, находятся в эксплуатации несколько объектов. Рудные месторождения Лебединское, Михайловское, Стойленское и др. обрабатываются карьерным способом. Как следует из общей гидрогеологической обстановки, на рудных месторождениях четвертой группы водопритоки в горные выработки могут формироваться

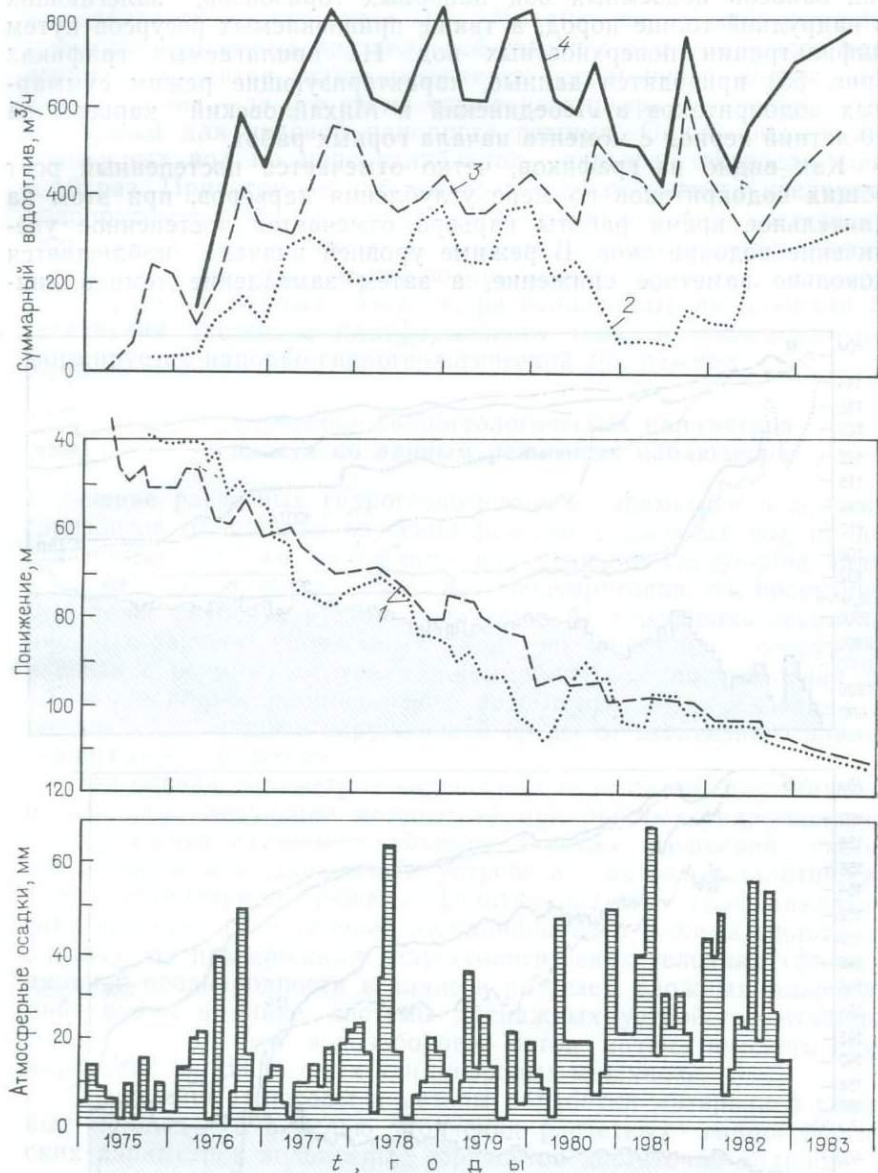


Рис. 54. Графики режима водопритоков, уровней подземных вод и атмосферных осадков:

1 — уровни подземных вод по двум наблюдательным скважинам. Водопритоки: 2 — в шахту, 3 — в карьер, 4 — суммарные

преимущественно за счет сработки естественных ресурсов упругих запасов подземных вод напорных горизонтов, залегающих в надрудной толще пород, а также привлекаемых ресурсов путем инфильтрации поверхностных вод. На прилагаемых графиках (рис. 55) приводятся данные, характеризующие режим суммарных водопритоков в Лебединский и Михайловский карьеры за 10-летний период с момента начала горных работ.

Как видно из графиков, четко отмечается постепенный рост общих водопритоков по мере углубления карьеров, при этом за длительное время работы карьера отмечается постепенное увеличение водопритоков. В режиме уровней вначале наблюдается довольно заметное снижение, а затем замедление темпов сни-

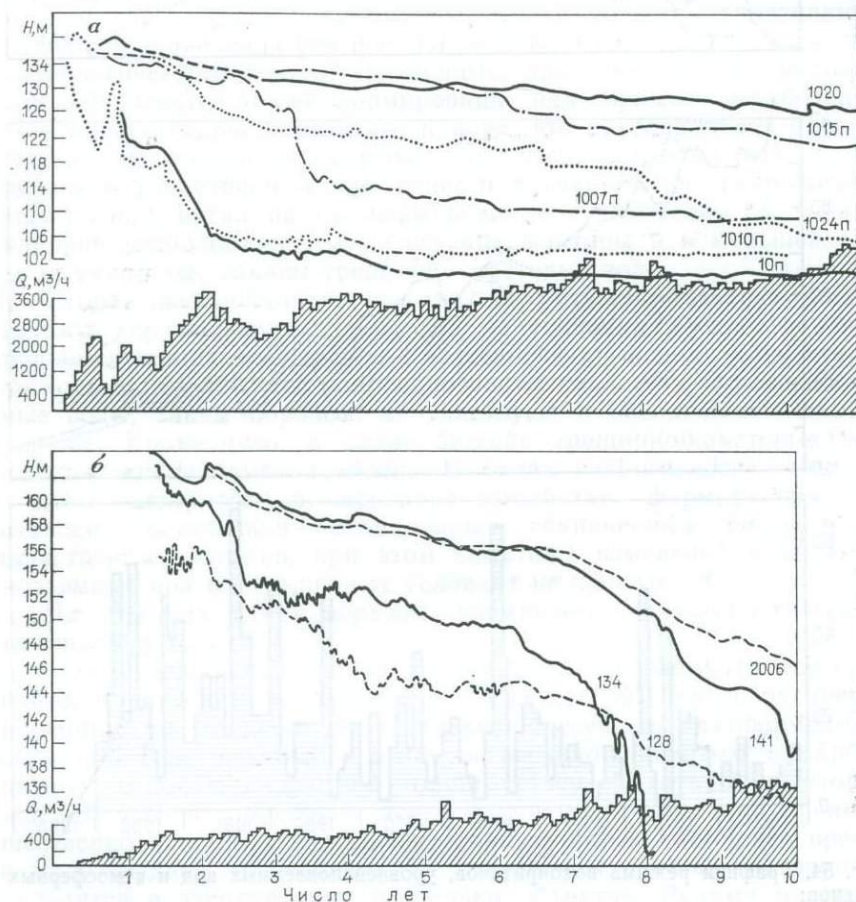


Рис. 55. Графики колебания уровней воды:

а — сеноман-альбского водоносного горизонта в зависимости от водоотлива на участке Лебединского карьера; б — келловей-батского водоносного горизонта в зависимости от водоотлива на участке Михайловского карьера (составили В. С. Плотников, Р. И. Савищева).
 Около кривых указаны номера скважин

жения, и в наблюдательных скважинах, расположенных вблизи карьера, отмечается некоторая их стабилизация (скважина 1010 на Лебединском карьере). На Михайловском месторождении в режиме подземных вод келловей-батского и мосоловского водоносных горизонтов четко отмечается непрерывный процесс снижения уровня — за все время осушения карьера, что является характерным для условий напорного режима. Общие водопритоки дренажных вод по мере углубления карьера возросли почти в 10 раз. При этом не наблюдалось скачкообразного увеличения водопритоков в карьер, не было отмечено больших остаточных гидростатических напоров по уступам карьеров. Такие особенности формирования режима водопритоков и уровней характерны для отработки рудных объектов, расположенных на площади артезианских бассейнов платформенного типа, и последовательно формируется напорно-гидрогеологический тип режима.

Уточнение гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений

Уточнение расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов по данным изучения режима подземных вод на действующих объектах необходимо для решения следующих задач: а) прогнозной оценки возможных водопритоков на проектируемые более глубокие рудные горизонты; б) переоценки эксплуатационных запасов подземных вод водозаборных сооружений в связи с возможным увеличением общего водопотребления или выбора наиболее рационального водоотбора; в) обоснования мероприятий по защите окружающей среды от негативного влияния техногенных процессов.

Для оценки параметров водоносных горизонтов могут быть использованы следующие методы: а) при простых гидрогеологических условиях изучаемого объекта, а также несложной системе водозаборов или дренажных устройств — методы аналитических (для стационарного режима фильтрации) или графоаналитических расчетов (для условий нестационарного режима фильтрации потока); б) при сложных гидрогеологических условиях (фильтрационной неоднородности в плане и разрезе), сложных конфигураций границ в плане, системы дренажных устройств изучаемого объекта и системы водозаборов — метод математического моделирования на аналоговых или цифровых машинах.

Современные способы и методы обработки материалов режимных наблюдений с целью уточнения расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов достаточно подробно изложены в работах [3, 27, 29, 36]. В связи с этим отметим только основные методические положения, которые необходимо учитывать при обработке материалов режимных наблюдений.

1. В практике осушения горных разработок и эксплуатации водозаборных сооружений может формироваться нестационарный (квазистационарный) или стационарный режим фильтрации, что

предопределяет различные способы расчетов гидрогеологических параметров пласта.

2. Как следует из основного уравнения Тейса, в напорном изолированном пласте понижение уровня подземных вод через определенное время после начала откачки связано с логарифмом времени прямолинейной зависимостью. Это важное теоретическое положение служит основой графоаналитического метода определения расчетных гидрогеологических параметров пласта для нестационарного режима фильтрации путем построения и анализа специальных графиков: временного прослеживания — $S \div \ln t$; площадного прослеживания — $S \div \ln r$; комбинированного — $S \div \ln \frac{t}{r}$, где r — расстояние между центральной и наблюдательной скважинами. Прямолинейный участок на специальных графиках отражает закономерность изменения понижения уровня при квазистационарном режиме. Отличительной особенностью области квазистационарного режима является одинаковый темп снижения уровня во всех точках этой области.

3. Относительное постоянство общего дебита осушительных устройств или водозабора является одним из обязательных условий применения графоаналитического метода для определения расчетных гидрогеологических параметров пласта. С целью оценки характера водоотбора необходимо вначале построить совмещенные графики $Q = f(t)$ и $S = f(t)$ по наблюдательным скважинам. Если на графиках отмечается изменение дебита осушительных устройств, то фактическое изменение его дебита может быть преобразовано в ступенчатый график (рис. 56). В этом случае обработку материалов режимных наблюдений можно провести методом сложения фильтрационных течений. При этом предполагается, что каждая ступень изменения общего дебита осушительных устройств соответствует включению в эксплуатацию новых скважин водозабора, работающих с производительностью, равной разности между ступенями общего дебита. В этом случае должно быть определено приведенное время работы водозабора

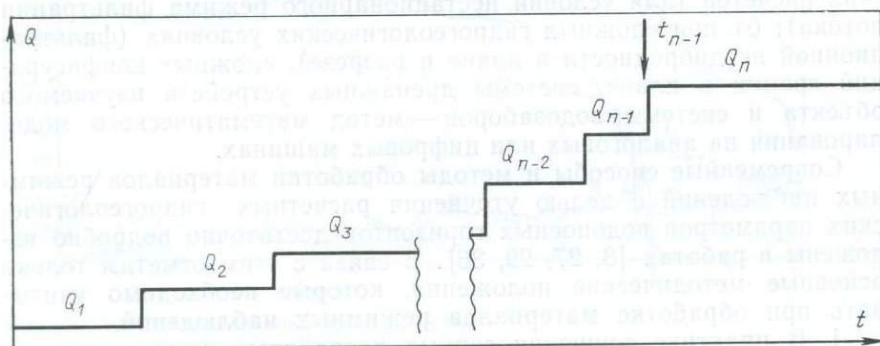


Рис. 56. Ступенчатый график водоотбора

$t_{\text{пр}}$. Тогда при построении полулогарифмического графика временного прослеживания по оси абсцисс откладывается $\ln t_{\text{пр}}$ вместо $\lg t$.

При линейном изменении дебита для построения полулогарифмического графика целесообразно пользоваться приведенным понижением уровня

$$\frac{S}{Q(t)} - \lg t_{\text{пр}}.$$

Этот способ рассмотрен ниже на конкретном примере.

4. При анализе данных режимных наблюдений в каждом случае необходимо составлять расчетную геофильтрационную схему изучаемого участка с учетом типовых условий, для которых имеются типовые аналитические зависимости: а) не ограниченные в плане водоносные горизонты однопластового или слоистого строения; б) ограниченные в плане водоносные горизонты (полуограниченные пласты), связанные с поверхностными водотоками, и водоносные горизонты или ограниченные непроницаемыми контурами; в) пласт-полоса в плане, замкнутый пласт-круг и др. [3].

При преобразовании гидрогеологических условий изучаемого участка, отвечающих типовым расчетным геофильтрационным схемам неограниченных и полуограниченных пластов, для определения параметров пласта используется прямолинейная зависимость графиков $S - \lg t$; для схем полосообразных пластов — $S - \sqrt{t}$; в замкнутых пластах — $S - t$.

5. Определение гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений с помощью графоаналитического метода можно выполнить тремя способами:

Способом временного прослеживания, используя при этом график $S = A_t + C_t \lg t$. Этот график может быть построен при прослеживании во времени понижения или восстановления уровня. Значения водопроводимости пласта и коэффициента пьезопроводности определяются по угловым коэффициентам C_t и начальным ординатам A_t графиков временного прослеживания.

Способом площадного прослеживания — путем построения графиков в координатах $S - \lg r$, используя при этом зависимость $S = A_r - C_r \lg r$. Способ заключается в прослеживании изменения уровня в зависимости от расстояния r от наблюдательной скважины до возмущающей (водозаборной) выработки. Водопроницаемость пласта и коэффициент пьезопроводности определяются по угловому коэффициенту C_r непосредственно на графике и начальным ординатам A_r .

Способом комбинированного прослеживания — с помощью комбинированных графиков $S - \lg \frac{t}{r^2}$; и путем использования зависимости $S = A_R + C_R \lg \frac{t}{r^2}$. Как и в предыдущем случае, проводимость пласта определяется по угловому ко-

эффиценту C_k графиков, а пьезопроводность — по начальной ординате A_k .

Для нахождения на графиках временного прослеживания участка, отвечающего квазистационарному режиму, следует пользоваться аналитическим критерием t_k — контрольное время.

Для не ограниченного в плане однородного напорного пласта и определения его проводимости и пьезопроводности можно пользоваться следующими зависимостями.

Для временного прослеживания:

$$S = \lg t; \quad km = \frac{0,183Q}{C_t}; \quad \lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A_t}{C_t};$$

$$C_t = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1},$$

где C_t — угловой коэффициент.

Для площадного прослеживания

$$S = \lg r; \quad km = \frac{0,366Q}{C_r}; \quad \lg a = \frac{2A_r}{C_r} - 0,35 - \lg t;$$

$$C_r = \frac{S_1 - S_2}{\lg r_2 - \lg r_1}.$$

Для комбинированного прослеживания

$$S = \lg \frac{t}{r^2}; \quad km = \frac{0,183Q}{C_k}; \quad \lg a = \frac{A_k}{C_k} - 0,35;$$

$$C_k = \frac{S_2 - S_1}{\lg \frac{t_2}{r_2^2} - \lg \frac{t_1}{r_1^2}}.$$

Начальная ордината A — это отрезок отсекаемый графиком на оси ординат, соответственно:

$$\lg t = 0, \quad \lg r = 0, \quad \lg \frac{t}{r^2} = 0.$$

Обработка гидрогеологических материалов режимных наблюдений, которые проводятся на рудных месторождениях в условиях слоистых водоносных горизонтов, а также в условиях ограниченных в плане пластов, имеет некоторые особенности. При интерпретации таких материалов необходимо пользоваться методическими приемами, изложенными в [3, 27, 29, 36].

Реже в практике осушения горных разработок наблюдается стационарный режим фильтрации, главным образом при обработке рудных объектов вблизи реки. Приведем для этого случая уточнения гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений методом аналитических расчетов. Например, рудное месторождение временно обрабатывается опытно-производственным карьером по левому берегу крупной реки. Обработка карьером производится под защитой опытной водоотводящей

дамбы и кольцевой системы водопонижительных скважин (рис. 57).

Рудные тела приурочены здесь к сильно метаморфизованным породам карбонатного состава с интенсивно выраженной трещиноватостью, в меньшей степени закарстованностью. Подземные воды рудовмещающей свиты, как показывает опытное водопонижение, имеют затрудненную гидравлическую связь с поверхностными водами реки. Анализ графиков $Q=f(t)$ и $S=f(t)$ показал, что водопонижительная система скважин на определенных глубинах отработки опытного карьера работает в условиях стационарного режима фильтрации; на графике в связи с этим выбраны участки на различное понижение уровня и стабильность дебита скважин. Гидрогеологические условия участка опытной отработки месторождения можно схематизировать как полуограниченный пласт с границей постоянного напора со стороны реки. Кольцевую систему водопонижительных скважин можно преобразовать в систему «большого колодца». При расположении наблюдательных скважин за пределами кольца водопонижительных скважин определение проводимости пласта можно выполнить аналитическими расчетами способом зеркального отображения (см. рис. 57):

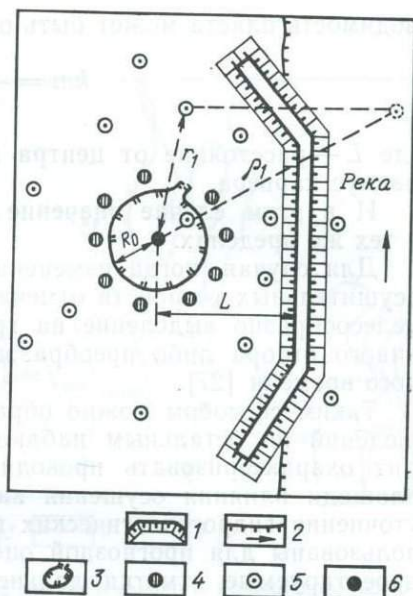


Рис. 57. Расчетная схема определения гидрогеологических параметров:

1 — оградительная дамба; 2 — русло и направление течения реки; 3 — карьер. Скважины: 4 — водопонижительная, 5 — наблюдательная, 6 — центр понижения уровня

$$km = \frac{\sum Q_1}{2\pi S} \ln \frac{\rho_1}{r_1},$$

где $\sum Q$ — суммарный дебит водопонижительных скважин «большого колодца» 306 м³/ч; S — понижение уровня в наблюдательной скважине; ρ_1 — расстояние от наблюдательной скважины до ее зеркального отражения 980 м; r_1 — расстояние от центра кольцевой системы водопонижительных скважин до наблюдательной скважины 640 м.

Значение водопроводимости пласта при этих условиях составляет 158 м²/сут, что хорошо согласуется с данными разведки, по которым эта величина изменялась (в среднем) от 125 до 170 м²/сут.

При использовании режимных наблюдений в скважинах, расположенных непосредственно внутри опытного карьера, водопр-

водимость пласта может быть определена по формуле

$$km = \frac{\Sigma Q}{2\pi S} \ln \frac{2L}{R_0},$$

где L — расстояние от центра карьера до границы пласта; R_0 — радиус карьера.

И в этом случае значение проводимости пласта изменялось в тех же пределах.

Для случая, когда изменение суммарной производительности осушительных устройств отмечается в виде ступенчатого графика, целесообразно выделение на графике отдельных ступеней постоянного отбора либо преобразование графика в форме приведенного времени [27].

Таким способом можно обработать материалы режимных наблюдений по остальным наблюдательным скважинам, что позволит охарактеризовать проводимость водоносных пород по всей площади влияния осушения карьера. Вместе с тем результаты уточнения гидрогеологических параметров пласта могут быть использованы для прогнозной оценки общих водопритоков $Q_{пр}$ на проектируемые отметки дальнейшего углубления карьера. Для

данного примера
$$Q_{пр} = \frac{2\pi kmS}{\ln(2L/R_0)}.$$

Рассмотрим определение гидрогеологических параметров пласта для условий нестационарного режима фильтрации для участка водозаборного сооружения, приуроченного к напорному верхнедевонскому водоносному комплексу. Водовмещающие породы представлены трещиноватыми известняками и доломитами общей мощностью 50—100 м. На рассматриваемой территории напорных вод водоносный комплекс имеет почти повсеместное распространение, за исключением юго-западной части, где он выклинивается под юрскими глинами (непроницаемая граница пласта). Такие гидрогеологические условия можно преобразовать в расчетную схему полуограниченного пласта с одной непроницаемой границей. Схематическая карта гидронзопьез со схемой расположения наблюдательных скважин приведена на рис. 58.

Наиболее равномерная эксплуатация подземных вод на водозаборе началась с 1927 г. Величина водоотбора постепенно возросла (максимум был отмечен в послевоенные годы) и в период с 1973 по 1979 г. стабилизировалась (155—160 тыс. м³/сут). Кроме основного водозабора в районе действуют более мелкие водозаборы, не оказывающие существенного влияния на режим подземных вод.

За весь период эксплуатации был зафиксирован нестационарный режим фильтрации пород, при этом снижение уровней от первоначального составило 65—70 м. В результате интенсивной эксплуатации сформировалась обширная депрессионная воронка, несколько вытянутая с северо-запада на юго-восток, радиусом до 85—95 км (см. рис. 58). Систематические наблюдения за режи-

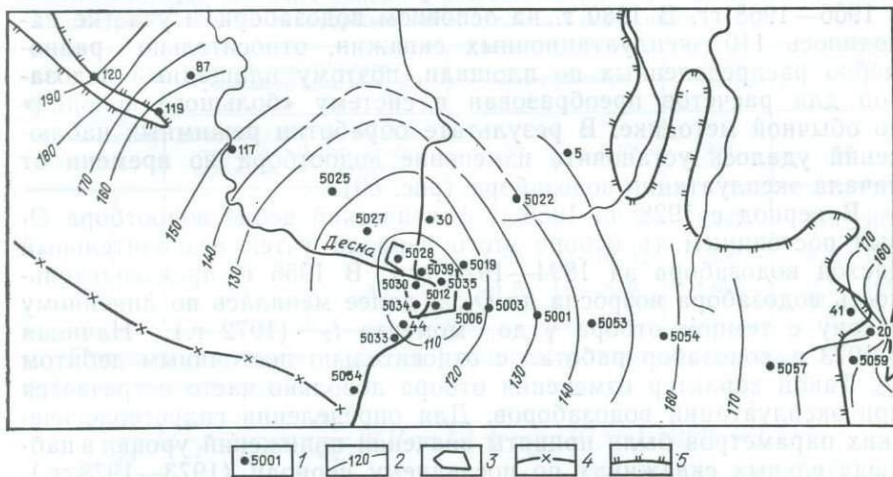


Рис. 58. Схематическая карта гидроизопьез верхнедевонского водоносного комплекса:

1 — наблюдательная скважина и ее номер; 2 — гидроизогипсы на 30/XII 1978 г.; 3 — групповой водозабор; 4 — граница распространения водоносного комплекса; 5 — граница сплошного распространения юрских глин

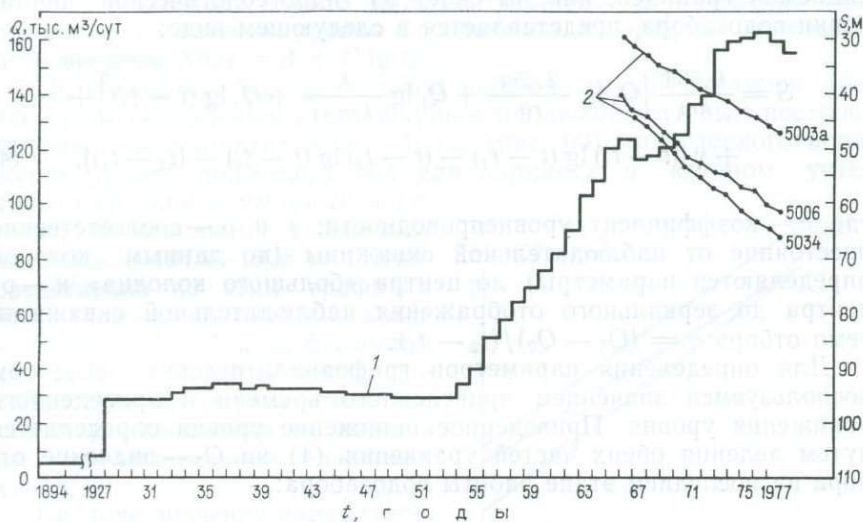


Рис. 59. Графики изменения водоотбора (1) и уровня подземных вод (2) на водозаборе.

Около кривых даны номера скважин

мом подземных вод продуктивного водоносного горизонта на площади водозабора и прилегающих районов были организованы в 1966—1968 гг. В 1980 г. на основном водозаборном участке находилось 110 эксплуатационных скважин, относительно равномерно распределенных по площади, поэтому площадный водозабор для расчетов преобразован в систему «большого колодца» по обычной методике. В результате обработки режимных наблюдений удалось установить изменение водоотбора во времени от начала эксплуатации водозабора (рис. 59).

В период с 1928 по 1955 г. фактический дебит водоотбора Q_1 был постоянным (в отборе этого периода учтен незначительный расход водозабора за 1894—1928 гг.). В 1956 г. производительность водозабора возросла до Q_2 , а далее менялась по линейному закону с темпом отбора γ до момента t_2 (1972 г.). Начиная с 1973 г. водозабор работал с относительно постоянным дебитом Q_3 . Такой характер изменения отбора довольно часто встречается при эксплуатации водозаборов. Для определения гидрогеологических параметров были приняты значения понижений уровня в наблюдательных скважинах по последнему периоду (1973—1978 гг.), текущее время t отсчитывалось от начала наиболее систематической эксплуатации, т. е. с 1928 г., приведенное время для построения графиков определялось расчетами.

Уравнение для величины снижения уровня с учетом «наследства» предыдущего периода работы водозабора, а также с учетом расчетной схемы полуограниченного пласта с одной непроницаемой границей, как вытекает из гидрогеологической обстановки водозабора, представляется в следующем виде:

$$S = \frac{0,366}{km} \left[Q_3 \lg \frac{2,25a}{r\rho} + Q_1 \lg \frac{t}{t-t_1} + Q_2 \lg (t-t_1) \right] + \gamma [(t-t_1) \lg (t-t_1) - (t-t_2) \lg (t-t_2) - (t_2-t_1)], \quad (4)$$

где a — коэффициент уводнепроводности; r и ρ — соответственно расстояние от наблюдательной скважины (по данным которой определяются параметры) до центра «большого колодца» и — от центра до зеркального отображения наблюдательной скважины; темп отбора $\gamma = (Q_3 - Q_2)/(t_2 - t_1)$.

Для определения параметров графоаналитическим способом воспользуемся значением приведенного времени и приведенного понижения уровня. Приведенное понижение уровня определяется путем деления обеих частей уравнения (4) на Q_3 — значение отбора на последнем этапе работы водозабора:

$$\frac{S}{Q_3} = \frac{0,366}{km} \left[\lg \frac{2,25a}{r\rho} + \frac{Q_1}{Q_3} \lg \frac{t}{t-t_1} + \frac{Q_2}{Q_3} \lg (t-t_1) \right] + \frac{\gamma}{Q_3} [(t-t_1) \lg (t-t_1) - (t-t_2) \lg (t-t_2) - (t_2-t_1)]. \quad (5)$$

ТАБЛИЦА 6

Сводная таблица исходных данных и результатов расчета гидрогеологических параметров пласта по некоторым наблюдательным скважинам

Номер наблюдательной скважины	Расстояние от центра „большого колодца“, м		Коэффициенты		Гидрогеологические параметры, м ² /сут	
	до наблюдательной скважины	до зеркального отображения	$C \cdot 10^4$	$A \cdot 10^4$	km	a
5012	9	25	3,45	-7,95	1060	$1,5 \cdot 10^6$
44	9	64	3,95	-10,45	920	$5,9 \cdot 10^6$
5031	26	45	2,5	-5,9	1460	$2,3 \cdot 10^6$

Приведенное время $t_{пр}$ для расчетов можно определить по следующей зависимости:

$$\frac{Q_1}{Q_3} \lg \frac{t}{t-t_1} + \frac{Q_2}{Q_3} \lg (t-t_1) + \frac{\gamma}{Q_3} [(t-t_1) \lg (t-t_1) - (t-t_2) \lg (t-t_2) - (t_2-t_1)] = \lg t_{пр}. \quad (6)$$

Далее принимаем

$$C = 0,366/(km); \quad (7)$$

$$A = C \lg \frac{2,25a}{r\rho}, \quad (8)$$

получим уравнение в виде линейной зависимости изменения приведенного понижения уровня от значения логарифма приведенного времени $S/Q_3 = A + C \lg t_{пр}$.

По наиболее представительной наблюдательной скважине (более продолжительным стационарным наблюдениям) был построен график в координатах $S/Q_3 - \lg t_{пр}$ (рис. 60) приведенного понижения уровня подземных вод для варианта, в котором учтен только средний суммарный водоотбор по основному водозабору за период 1973—1978 гг. Непосредственно по этим графикам были определены значения коэффициентов A и C , а по формулам (7) и (8) — значения водопроницаемости и пьезопроводности водоносного комплекса по каждой из наблюдательных скважин (табл. 6).

Средние значения параметров, определенные как средние арифметические из выборки частных значений, составили: водопроницаемость $1100 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент пьезопроводности $3,6 \times$

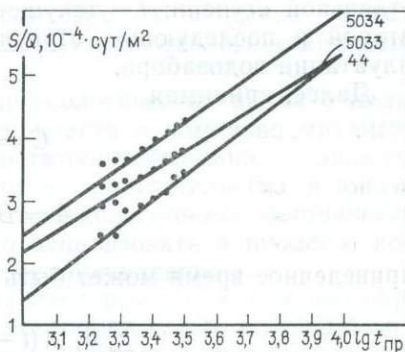


Рис. 60. Графики изменений приведенного понижения уровня подземных вод при водоотборе

$\times 10^6$ м²/сут. Параметры, подсчитанные тем же методом для варианта, когда учитывается суммарный и в целом по району водоотбор (с учетом мелких водозаборов — 200 тыс. м³/сут), равны соответственно 1300 и $3 \cdot 10^6$ м²/сут.

Рассмотренный графоаналитический способ определения гидрогеологических параметров пласта при сложной схеме водоотбора может быть использован и для оценки параметров при эксплуатации внешних дренажных устройств при осушении горных разработок.

При ступенчатом изменении дебита водозабора или осушительных устройств фактическое изменение отбора подземных вод может быть преобразовано ступенчатым графиком, как это показано на рис. 56. В этом случае обработку материалов режимных наблюдений следует выполнить методом сложения фильтрационных течений (метод суперпозиций). При этом предполагается, что каждая ступень изменения дебита как бы соответствует вводу в эксплуатацию новых скважин водозабора, расположенных на том же самом месте и работающих с производительностью, равной разности между новым и предыдущим их дебитом. Понижение уровня подземных вод в наблюдательной скважине при этом рассматривается как суммарный эффект работы этих якобы двух водозаборов, при этом подобная операция должна повторяться столько раз, сколько раз изменяется дебит водозабора. В таких условиях понижение уровня может быть выражено следующей формулой (для условий бесконечного в плане напорного горизонта):

$$S = \frac{Q_n}{4\pi km} \left[\ln \frac{2,25a}{r^2} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(t - t_{i-1}) \right],$$

где Q_n — конечный суммарный дебит водозабора на последней ступени; km — проводимость пласта; a — коэффициент пьезопроводности; α_i — темп отбора $\frac{Q_i - Q_{i-1}}{Q_n}$; Q_i — дебит водозабора отдельной ступени; t — текущее время; t_i — время начала первой, второй и последующих ступеней дебита, считая от начала эксплуатации водозабора.

Далее, принимая

$$C = \frac{Q_n}{4\pi km}; \quad (9)$$

$$A = B \lg \frac{2,25a}{r^2}, \quad (10)$$

приведенное время может быть определено по формуле

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(t - t_{i-1}) = \ln t_{\text{пр}}. \quad (11)$$

Используя уравнения (9) и (11), получим уравнение прямой

$$S = C + A \ln t_{\text{пр}}.$$

Определение гидрогеологических параметров водоносного горизонта по данным режимных наблюдений, так же как и в предыдущих случаях, производится графоаналитическим методом, где при построении графика временного прослеживания необходимо учитывать логарифм проведенного времени. При этом параметры должны определяться по изменению уровня подземных вод в наблюдательных скважинах, соответствующему данным последней ступени постоянного дебита водозабора Q_n , а предыдущие ступени отбора, отвечающие дебитам $Q_1, Q_2 \dots Q_{i-1}$, проявляют себя в виде «наследства» в снижении уровня от всех предыдущих периодов работы водозабора или осушительного устройства.

Определение гидрогеологических параметров водоносных пород с помощью метода математического моделирования

В последнее время в практике гидрогеологических исследований на рудных месторождениях широко стали применяться методы математического моделирования [5, 16, 15]. Объясняется это тем, что на многих рудных объектах осушение горных разработок происходит в очень сложных гидрогеологических условиях, в связи с этим выбрать и обосновать наиболее рациональную схему дренажа и другие средства защиты горных выработок от обводнения обычными методами аналитических расчетов практически невозможно. Это положение относится к промышленному освоению рудных месторождений третьей группы (см. табл. 5), на которых рудовмещающие карбонатные породы характеризуются очень высокой степенью фильтрационной неоднородности четвертой группы изучаемых объектов, в разрезе которых в надрудной толще пород всегда формируется целая система взаимосвязанных водоносных напорных горизонтов, имеющих очень сложные граничные условия потоков в плане и разрезе.

Как правило, при решении на АВМ или ЭВМ прямых прогнозных задач по определению общих водопритоков в систему горных работ и обоснованию рациональных схем их осушения прежде всего решаются задачи по определению гидрогеологических параметров водоносных пород.

Теория и методы решения гидрогеологических задач с целью определения расчетных параметров пласта с помощью математического метода моделирования достаточно подробно изложены в работах [5, 15, 16, 37]. Учитывая это обстоятельство, в настоящем разделе изложены только некоторые основные методические положения, которые целесообразно использовать в процессе комплексных исследований на рудных месторождениях.

Анализ опыта осушения рудных месторождений с целью определения гидрогеологических параметров пласта на АВМ или ЭВМ представляет собой сложную гидрогеологическую задачу, так как при этом необходимо всесторонне рассмотреть условия формирования водопритоков в горные выработки за многолетний период осушения с учетом гидродинамических параметров

многослойного геологического разреза, влияния естественных и техногенных граничных условий, а также возможного изменения условий питания подземных вод в пределах основной площади развития воронок депрессии.

В общей теории моделирования гидрогеологических процессов весь комплекс задач по их целевому назначению подразделяют на два типа. 1. Прогнозные задачи, призванные решать прогноз режима и баланса подземных вод в процессе воздействия инженерных мероприятий. Для данных условий предусматриваются прогноз общих водопритоков в горные выработки и выбор рациональной схемы осушения месторождения или прогнозная оценка общей производительности водозабора. 2. «Обратные» задачи, направленные на определение расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов. Таким образом, исследования по определению гидрогеологических параметров пласта с помощью АВМ или ЭВМ входят в общий комплекс задач, решение которых намечается выполнить методом математического моделирования. Этим определяется и общий методический прием в подготовке гидрогеологических материалов для целей моделирования, краткое рассмотрение общего комплекса задач в этом направлении изложено в гл. 12.

На первом этапе процесса моделирования важным является преобразование природных гидрогеологических условий в расчетную геофильтрационную схему изучаемого объекта, отражающую внешние и внутренние граничные условия потока в плане и разрезе, структуру потока в нарушенных условиях, тип режима потока (стационарный, нестационарный, квазистационарный), фильтрационную неоднородность водоносных пород и т.д. Расчетная геофильтрационная схема, как следует из ее содержания, является по существу гидрогеологической моделью изучаемого объекта, отражающей основные гидродинамические особенности фильтрационного потока, сформировавшегося в нарушенных условиях.

На втором этапе моделирования геофильтрационная схема объекта должна быть использована для построения на базе принципов теории подобия и математической аналогии, сеточная или цифровая прогнозная модель, в зависимости от того, с помощью каких технических средств намечается решение гидрогеологических задач — на АВМ или ЭВМ. После проверки реальности математической модели и оценки качества исходной информации решаются поставленные гидрогеологические задачи.

Решение обратных задач на модели обычно выполняется в условиях стационарной и нестационарной фильтрации. Определение параметров проводимости пласта, площадного питания водоносного горизонта, а для слоистого разреза — перетекания производится путем решения обратных задач в условиях стационарного режима фильтрации. С помощью решения обратных задач плановой нестационарной геофильтрации определяются значения коэффициента гравитационной μ и упругой μ^* емкости пласта.

При моделировании обратных задач применяются модели-фрагменты и общие модели изучаемого объекта в пределах основной территории нарушенного режима подземных вод. Моделирование на фрагментах выполняется для оценки расчетных параметров в пределах типовых участков на плановых или профильных расчетных схемах для детализации условий формирования фильтрационного потока (обычно в крупных масштабах — 1 : 5000 — 1 : 25 000).

Моделирование на общих расчетных схемах, как правило, предусматривает выполнение нескольких этапов (задач) на картах масштаба 1 : 25 000 — 1 : 200 000. На первом этапе решается обратная стационарная задача с целью оценки условий питания подземных вод, разгрузки их в реки или глубокие горизонты и распределения потоков по расчетным горизонтам в годы различной обеспеченности по водности. Такая задача решается для условий естественного режима до эксплуатации месторождений, что позволяет использовать на моделях результаты гидрометрических исследований по рекам, которые являются для моделей контролем общего подземного стока в реки, а в ряде случаев и модулей подземного питания. Необходимость решения указанных задач за последние годы возросла в связи с тем, что при осушении рудных месторождений возникает потребность в использовании рудничных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которая оценивается для водности года 95 %-ной обеспеченности.

Водопритоки в горные выработки оцениваются для водности года 5 и 10 %-ной обеспеченности. Таким образом, данная модель позволяет рассмотреть гидродинамические потоки с учетом поставленных народнохозяйственных задач, а также решение вопросов по экологическим изменениям территории при осушении месторождений (проблема охраны окружающей среды при осушении горных разработок). Последующие этапы моделирования общих расчетных схем предусматривают рассмотрение комплексных моделей по опыту водопонижения на месторождениях (см. гл. 11). Для повышения достоверности результатов моделирования целесообразно выделять отрезки времени со стационарным нарушенным режимом, реализация которых на моделях исключает оценку емкостных параметров водоносных горизонтов и разделяющих слоев.

При моделировании нестационарных задач подключаются емкостные характеристики водоносных горизонтов и разделяющих слоев, которые контролируются по темпам снижения уровней во времени в данной режимной скважине. Достоверность решения обратных задач по оценке гидрогеологических параметров может быть повышена за счет: а) получения дополнительной информации по специальным полевым исследованиям емкостных характеристик водоносных горизонтов и разделяющих слоев на типовых участках; б) комплексирования гидродинамических, гидрохи-

мических, гидрогеотермических и гидрологических условий на единой расчетной схеме.

Приведенная очередность решения обратных задач является начальной и может иметь повторения для их взаимной коррекции по расчетным параметрам. Моделирование обратных задач по опыту осушения горных разработок с целью оценки расчетных параметров и изучения общего водообмена подземных вод исследуемой территории позволяет подойти к вопросу чувствительности расчетной схемы по параметрам и уточнения дальнейшей методики всего комплекса режимных наблюдений.

Для решения перечисленных выше обратных задач и в последующем прямых прогнозных задач должна предшествовать всесторонняя обработка материалов, характеризующих гидрогеологическую обстановку изучаемого объекта в естественных и нарушенных условиях, с целью подготовки необходимой обобщенной информации. Перечень и содержание необходимой гидрогеологической информации приведены в гл. 12.

Вероятностно-статистические методы обработки материалов комплексного изучения режима подземных вод

При достаточном объеме первичной гидрогеологической информации для комплексного изучения режима подземных вод при эксплуатации осушительных устройств, водозаборных сооружений, хранилищ промышленных стоков и других объектов обработка и систематизация этих материалов могут быть выполнены вероятностно-статистическим методом.

Сущность этого метода обработки состоит в использовании теории вероятности и математической статистики для решения большого круга гидрогеологических задач, в том числе изучения условий формирования режима подземных вод в техногенных условиях.

Теоретические предпосылки вероятностно-математического метода для обработки гидрогеологической информации достаточно хорошо разработаны, поэтому отметим только основные методические приемы использования вероятностно-статистических исследований и технологию обработки материалов по режиму подземных вод.

Отметим прежде всего, что с помощью описываемого метода можно: а) определить обобщенные показатели, характеризующие основные закономерности нарушенного режима подземных вод, формирующиеся в стадию эксплуатации рудных месторождений; б) установить коррелятивные связи между основными режимобразующими факторами в техногенных условиях, а также корреляционную зависимость между водопритоками в горные выработки, гидрометеорологическими и гидрологическими факторами; в) построить различные аналитические графики и установить из-

менение основных показателей режима подземных вод в пространстве и во времени (уровни подземных вод, водопритоков в горные выработки, температуру подземных вод и т.д.), а также решить ряд других аналитических задач; г) с помощью математической обработки собранных данных обнаружить критерий гидрогеологического правдоподобия и таким образом оценить достоверность первичной гидрогеологической информации изучаемого объекта.

В практике гидрогеологических исследований имеется опыт применения вероятностно-статистических методов для прогнозной оценки общих водопритоков в систему горных выработок по опыту осушения рудных месторождений.

Технологию обработки и анализа первичной гидрогеологической информации целесообразно выполнить в такой последовательности.

1. Оценка общей характеристики всех компонентов режима подземных вод и их изменения во времени выполняется с помощью построения типовых кривых сезонного и многолетнего режима уровня, дебита, температуры и химического состава.

Если подлежат обработке материалы наблюдений за режимом водопритоков в систему горных выработок или подземных вод на водозаборном участке, то целесообразно построить совмещенные хронологические графики режима уровней, дебитов и режимобразующих природных факторов — атмосферных осадков, стока поверхностных вод и техногенных факторов.

Типовые кривые дают представление об устойчивости во времени и пространстве режима подземных вод в течение года как климатического цикла, так и за многолетний период, а также позволяют качественно установить зависимость основных параметров режима подземных вод от режимобразующих факторов.

2. Обработка материалов с целью определения статистических характеристик временных рядов данных режимных наблюдений, оценки внутренней закономерности чередования многоводных и маловодных лет, а также закона их распределения и последующей возможной экстраполяции параметров режима подземных вод в области высоких и низких обеспеченностей.

Общая процедура установления закона распределения временных рядов режимных наблюдений и составление на его основе гидрогеологического прогноза состоят из нескольких последовательных стадий обработки материалов. Вначале следует выполнить определение статистических параметров рядов наблюдений и объем выборки информации, затем гистограмму и эмпирическую кривую распределения значений параметров режима. На основании этих графиков можно установить закон распределения и экстремальные значения уровней подземных вод, водопритоков, дебитов водозабора и т.д., различной обеспеченности по водности года.

В результате обработки материалов могут быть выявлены среднемноголетние и средние годовые значения основных пара-

метров режима, амплитуды колебаний и другие гидрогеологические параметры, характеризующие режим подземных вод.

3. Обработка материалов с целью выявления генетических закономерностей многолетних колебаний основных параметров режима подземных вод. Вначале необходимо построить специальные хронологические графики колебаний уровня, дебитов, параметров режима и т. д., затем — разностно-интегральные кривые и кривые специального сглаживания, осуществить разложение временных наблюдений за режимом подземных вод в ряды Фурье и выявить цикличность, далее установить в исходных рядах трендовые изменения (тренд-анализ). Комплексную обработку рядов наблюдений необходимо завершить на ЭВМ.

Глава II

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ОБЩИХ ВОДОПРИТОКОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ И ВЫБОР СХЕМ ОСУШЕНИЯ

Общие положения и оценка водопритоков гидравлическим методом

Прогнозная оценка общих водопритоков в систему или отдельные горные выработки (шахтных или карьерных полей), как правило, выполняется в стадию проектирования промышленной отработки рудных месторождений. Исходной информацией для этого являются результаты гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, которые выполнялись в стадию разведки рудного месторождения. Оценки прогнозных водопритоков служат для обоснования горнотехнических условий проходки горных выработок, мер защиты их от обводнения, а также выбора наиболее эффективных схем осушения горных разработок в целом. При этом должны учитываться: а) основные закономерности гидрогеологических и инженерно-геологических условий рудного объекта; б) фильтрационные свойства рудовмещающих пород и пород надрудной толщи; в) балансовая структура возможных источников формирования водопритоков в горные выработки, роль в этой структуре поверхностных вод; г) технология вскрытия и условия отработки месторождения; д) влияние осушения горных разработок на возможное изменение свойств геологической среды и экологического качества окружающей среды; е) использование рудничных вод для целей водоснабжения или орошения и т. д.

В процессе длительной эксплуатации рудных месторождений, которая продолжается чаще всего более 50 лет, гидрогеологические и инженерно-геологические факторы, определяющие условия формирования водопритоков и горнотехнические условия, претерпевают существенные изменения, прогнозировать которые в стадию разведки месторождений очень сложно. Изменяются граничные условия фильтрационного потока в плане, что может быть

связано с условиями питания подземных вод, происходит изменение режима подземного стока, при котором система горных выработок играет роль глубинного базиса дренирования, изменяются свойства геологической среды и т. д. Кроме того, в стадию эксплуатации рудных месторождений, как отмечалось выше, довольно интенсивно проявляется целый комплекс техногенных процессов, негативное влияние которых также требует корректировки промышленной отработки залежи. Наиболее существенные изменения естественных гидрогеологических и инженерно-геологических условий происходят в стадию эксплуатации рудных месторождений, отнесенных к третьей и четвертой группам по степени сложности промышленной их отработки (см. табл. 5). В процессе эксплуатации рудных месторождений нередко возникает необходимость проходки новых шахтных стволов, реконструкции карьерных выработок, дополнительного углубления подземных горных выработок.

В стадию промышленной отработки рудных месторождений необходимо периодически производить переоценку общих водопритоков в горные выработки с целью уточнения эффективности действующих и сооружения дополнительных осушительных устройств, уточнения гидрогеологических условий отработки более глубоких рудных горизонтов, разработки дополнительных мер защиты окружающей среды от негативного влияния техногенеза и др.

Таким образом, при прогнозной оценке водопритоков к горным выработкам и дренажным сооружениям в стадию эксплуатации рудных месторождений обычно учитываются не только нарушенные гидрогеологические и горнотехнические условия (условия и темпы дальнейшей проходки горных выработок), но и техногенные изменения, которые происходят в стадию промышленной отработки объекта. Исходной информацией для решения перечисленных выше задач являются результаты комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, которые проводятся в стадию эксплуатации рудных месторождений.

Теоретические основы и методы прогнозной оценки водопритоков в горные выработки достаточно подробно изложены в работах [9, 10, 18, 19, 20, 21, 22].

Выбор методов прогнозной оценки водопритоков и схем осушения целесообразно производить дифференцированно в зависимости от степени сложности геологической среды и промышленной отработки рудных месторождений, как это представлено в геолого-промышленной их группировке (см. табл. 5).

Для рудных месторождений, отнесенных к первой и второй группам, прогнозную оценку водопритоков в систему горных выработок или отдельные выработки можно выполнить следующими методами: а) гидравлическим, б) гидродинамическим (методом аналитических расчетов), в) балансовым. Для рудных месторождений третьей и четвертой групп, имеющих сложные и весьма сложные гидрогеологические условия, оценку прогнозных водо-

притоков целесообразно выполнять: а) методом математического моделирования, б) гидравлическим методом (главным образом для рудных месторождений третьей группы).

Процессы формирования водопритоков в систему горных выработок являются очень сложными по сравнению с притоком подземных вод к буровым скважинам на водозаборных сооружениях. Объясняется это тем, что при обработке рудных месторождений, например, подземным способом происходит систематическая проходка горных выработок в плане и по глубине, а следовательно, постоянно изменяется в пространстве водопримная часть общей системы водозабора. В то же время во всех известных аналитических зависимостях для типовых гидрогеологических условий учитываются факторы постоянства водопримной части каптажа. В связи с этим при определении общих прогнозных водопритоков гидрогеологическую схематизацию природных условий изучаемого объекта целесообразно проводить в увязке с технологическими особенностями проходки горных выработок. При карьерной обработке рудных объектов, когда в принципе контур водопримной его части изменяется незначительно, эти погрешности проявляются в меньшей степени. Кроме того, для третьей группы рудных месторождений (см. табл. 5), приуроченных к карбонатным неоднородным по проницаемости породам, водопритоки в систему горных выработок часто формируются за счет крупных сосредоточенных очаговых выходов рудничных вод, что также затрудняет использование обычных аналитических расчетов.

Упомянутые выше горнотехнические сложности определяют некоторые допущения и условности при прогнозной оценке общих водопритоков в систему горных работ.

Гидравлический метод прогнозной оценки общих водопритоков основан на анализе данных, характеризующих опыт осушения горных разработок на действующем предприятии. Для рудных объектов первой и второй групп этот метод, как показывают исследования, дает довольно приемлемые результаты прогнозной оценки водопритоков и достаточно оправдывается на практике. Метод основан на использовании функциональной зависимости суммарных водопритоков от понижения уровня (в данном случае в принципе от глубины отработки месторождения, что для условий распространения трещинных вод вполне допустимо). Суть методического приема заключается в следующем. На основании данных режимных наблюдений за фактическими общими водопритоками и режимом уровня подземных вод по наблюдательной скважине, расположенной ближе к центру возмущения фильтрационного потока, строится несколько графиков в координатах $\sum Q = f(t)$,

$$S_{cp} = f(t) \text{ и } \sum Q = f(S).$$

Графики временного прослеживания суммарных водопритоков $\sum Q = f(t)$ среднего значения уровня $S_{cp} = f(t)$ целесообразно

строить отдельно для максимальных, минимальных и средних годовых значений водопритоков. Такие вспомогательные графики позволяют четко определить характер и тенденции изменения во времени суммарных водопритоков, а также обосновать построение основного графика изменения суммарных водопритоков в зависимости от понижения уровня подземных вод (см. рис. 46). Основной график $\Sigma Q = f(S)$ при наличии достоверной гидрогеологической информации очень четко характеризует в обобщенном виде закономерность изменения суммарных водопритоков в зависимости от величины понижения уровня. На основании установленной закономерности по фактическим данным можно прогнозировать значения возможных водопритоков на последующую проектную глубину дальнейшей отработки рудного месторождения. Для приближенных прогнозных оценок можно воспользоваться простым графическим способом — путем экстраполяции данных основного графика, допуская при этом величину экстраполяции в пределах примерно до 50 % от общего значения понижения уровня с начала экстраполяции. Для более уточненных решений можно воспользоваться графоаналитическим способом, отражающим эмпирические зависимости дебита от понижения уровня — простейшие эмпирические зависимости, входящие в формулы Дюпюи, Смрекера, Альтовского и др. [14, 27]. Для выбора той или иной эмпирической зависимости необходимо выполнить следующие приемы обработки материалов. Если график зависимости $\Sigma Q = f(S)$ представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат, то для оценки прогнозного водопритока можно воспользоваться формулой Дюпюи. При получении на графике другого вида зависимости (преимущественно затухающая параболическая кривая) необходимо построить вспомогательные графики изменения удельных водопритоков от понижения уровня $q = f(S)$, $\lg Q = f(\lg S)$ или $Q = f(\lg S)$, что позволит выбрать необходимую эмпирическую зависимость для прогнозной оценки водопритоков [12]. В практике работы гидрогеологической службы гидравлический метод прогнозирования общих водопритоков вполне оправдался на многих объектах.

Балансовый метод, основанный на учете балансовой структуры водопритоков, приходной и расходной статей фильтрационного потока, позволяет приближенно произвести прогнозную оценку общих водопритоков для объектов, имеющих локальное развитие водоносных горизонтов. Он может быть применен при наличии количественной характеристики балансовой структуры всех возможных источников формирования водопритоков. Этот метод по существу определяет возможные пределы общих водопритоков в целом по руднику.

Гидродинамический метод оценки прогнозных водопритоков в систему горных выработок основан на строгих математических решениях. В зависимости от степени сложности гидрогеологических условий рудных месторождений оценку прогнозных водопритоков гидродинамическим методом можно

выполнить: а) для простых условий с помощью аналитических расчетов, используя при этом зависимости для типовых схем расчетов; б) для сложных условий — с помощью метода математического моделирования на АВМ или ЭВМ.

Применение гидродинамического метода требует соблюдения методических приемов в следующей последовательности. Вначале необходимо провести тщательный анализ имеющейся гидрогеологической информации по рудному месторождению: а) гидрогеологических карт распространения водоносных горизонтов, карт гидроизогипс, построенных на различное время, б) карт проводимости основных водоносных горизонтов с учетом уточненных значений гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений, техногенных изменений, происшедших в стадию эксплуатации рудного объекта; в) комплексных графиков, характеризующих режим водопритоков в горные выработки, изменение уровней подземных вод в наблюдательных скважинах, расположенных на различном расстоянии от центра возмущения потока, режим поверхностного стока, а также режим выпадающих атмосферных осадков; г) технологической схемы проходки горных выработок (темпы и условия их проходки).

На основании результатов анализа техногенных гидрогеологических условий должна быть составлена фильтрационная расчетная схема изучаемого объекта, характеризующая границы фильтрации потока в плане и разрезе в нарушенных условиях. Если геофильтрационную схему можно отнести к категории типовых, то дальнейшие расчеты прогнозных водопритоков выполняют с помощью известных аналитических расчетов для типовых расчетных схем. При сложной расчетной схеме решения поставленных задач целесообразно выполнить с помощью метода математического моделирования.

К основным типовым расчетным схемам, чаще всего встречающимся в практике эксплуатации рудных месторождений, можно отнести: а) не ограниченный в плане пласт, имеющий значительную площадь распространения; б) полуограниченный в плане пласт с одной границей питания (постоянного напора, например, у реки); в) пласт-полосу с различными условиями питания и стока на границах; г) пласт-круг, имеющий ограниченную площадь распространения, преимущественно с непроницаемым контуром.

В дальнейшем расчеты проводят для каждого выделенного в разрезе водоносного горизонта в следующей последовательности. Определяют общий водоприток в систему горных выработок на заданную глубину дальнейшей обработки рудного месторождения. Полученные значения прогнозных водопритоков должны быть оценены с точки зрения их влияния на безопасные условия ведения горных работ (в том числе на устойчивость откосов карьера). Затем должен быть выполнен анализ эффективности действующих на горном предприятии осушительных систем в соответствии с полученными результатами прогнозной оценки

водопритоков. С учетом этого анализа, в случае необходимости, в действующие осушительные системы должны быть внесены коррективы (уточняется механизм действующих дренажных устройств и вводятся новые водопонижительные скважины или дополняется насосное оборудование в горных выработках при внутришахтном водоотливе и др.).

Наиболее эффективным приемом, позволяющим упростить аналитические расчеты для прогнозной оценки общих водопритоков, является принцип «большого колодца», при котором общая конфигурация горных выработок в плане приводится к круговому контуру дренажа с радиусом r_k . Для преобразования карьерных полей такой прием вполне допустим для расчетов. Что же касается шахтного способа отработки рудных месторождений, когда расположение горных выработок по горизонтам нередко слишком разнится и смещается в пространстве друг относительно друга (например, при отработке пологопадающих рудных тел), принцип «большого колодца» может привести к снижению достоверности аналитических расчетов. В таких сложных условиях конфигурации водоприемной части «большого колодца» оценивать водопритоки целесообразно с помощью метода математического моделирования на АВМ или ЭВМ.

Расчетный радиус «большого колодца» можно определить: а) по периметру P горных выработок $r_k = P/(2\pi)$; б) по площади F горных пород $r_k = \sqrt{F/\pi}$.

Для карьеров расчетный радиус «большого колодца» определяется по формуле Н. К. Гиринского $r_k = \eta \frac{L+b}{4}$, где L — длина карьера; b — ширина карьера; η — коэффициент, определяемый в зависимости от величины b/L :

b/L	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
η	1,05	1,08	1,12	1,14	1,16	1,17	1,18

Приведем выражения для радиуса влияния R «большого колодца» применительно к типовым схемам граничных условий потока (для стационарного режима фильтрации) при различных условиях питания водоносных горизонтов (рис. 61).

1. Карьерное поле у линейной границы с постоянным напором (у реки, водоема): $R = 2L$.

2. Карьерное поле в полосообразном пласте между границами с постоянным напором (реки, водоемы):

$$R = \frac{2}{\pi} L_0 \sin \frac{\pi L}{L_0}.$$

3. Карьерное поле в полосообразном пласте с постоянным напором и непроницаемым контуром:

$$R = \frac{4}{\pi} L_0 \operatorname{tg} \frac{\pi L}{2L_0}.$$



Рис. 61. Расчетные схемы к определению радиуса влияния «большого колодца».

Карьерное поле: *a* — у линейной границы с постоянным напором, *б* — в полосообразном пласте между границами с постоянным напором, *в* — в полосообразном пласте с постоянным напором и непроницаемым контуром, *г* — в круговой области с постоянным напором на внешней границе

4. Карьерное поле в круговой области с постоянным напором на внешней границе: $R = R_0 - \frac{b^2}{R_0}$.

Для условий нестационарного режима фильтрации расчетный радиус влияния по схеме «большого колодца» может быть приближенно определен по формуле (при заданном понижении уровня) $R_t = r_k + \sqrt{\pi a t}$, где t — расчетное время. В работе [19] подробно изложены известные аналитические зависимости для типовых расчетных схем, которые могут быть использованы для прогнозной оценки водопритоков в систему горных выработок при карьерном или шахтном способе промышленной отработки рудных месторождений.

При разработке некоторых рудных месторождений в условиях распространения напорных водоносных горизонтов нередко приходится производить осушение в два этапа: на первом этапе выполняют полное снятие пьезометрических напоров, а на втором — непосредственное осушение водоносного пласта. В таких гидрогеологических условиях при осушении горных выработок формируется напорно-безнапорный режим фильтрационного потока. Особенность напорно-безнапорной фильтрации состоит в том, что балансовая структура водопритоков к горным выработкам определяется, с одной стороны, упругой, а с другой — гравитационной составляющей естественных запасов подземных вод осушаемого горизонта. Для оценки общих прогнозных водопритоков в условиях напорно-безнапорного режима имеются решения, предложенные Н. Н. Веригиным, а также метод интегральных соотношений и его частный случай — метод интегрального баланса, основанный на учете материального баланса в пределах депрессионной воронки. Некоторые типовые задачи напорно-безнапорной фильтрации применительно к осушению горных разработок

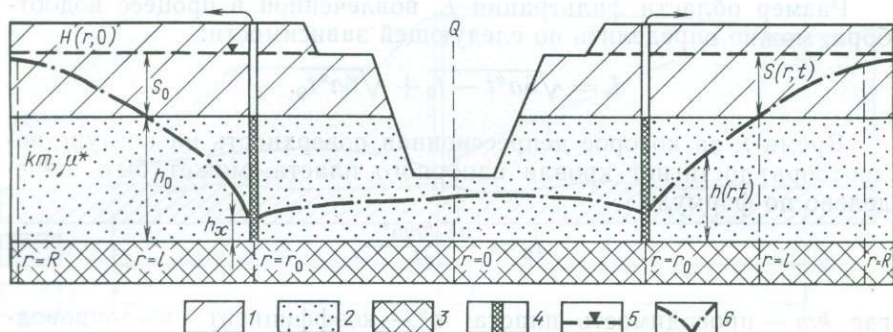


Рис. 62. Схема радиального напорно-безнапорного нестационарного потока:

1 — суглинки; 2 — пески; 3 — водонепроницаемые породы; 4 — скважина; 5 — уровень подземных вод в естественном залегании; 6 — депрессионная кривая

были решены В. К. Мамонтовым. Так, с целью оценки общих водопритоков в карьерное поле для радиального напорно-безнапорного нестационарного потока с заданным понижением уровня на контуре кольцевого дренажа скважин им было получено решение (рис. 62).

Уравнение баланса водопритоков $Q_{\text{общ}}$ в пределах воронки депрессии имеет вид: $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{б}}$, где $Q_{\text{н}}$ и $Q_{\text{б}}$ — притоки соответственно в зоне напорной и безнапорной составляющих.

Будем считать, что уровень подземных вод на контуре кольцевой батареи скважин снижается мгновенно, т. е. за время значительно меньшее, чем продолжительность осушения до некоторой заданной отметки $h_{\text{к}}$. При этих условиях со стороны напорной зоны прогнозный водоприток $Q_{\text{н}}$ может быть определен по следующей зависимости:

$$Q_{\text{н}} = \frac{2\pi km S_0 (1 - \bar{R})}{\bar{R} - \ln \bar{R} - 1},$$

где $\bar{R} = l/R$; l — расстояние от скважины до напорно-безнапорного потока; \bar{R} — радиус депрессии.

Величина безнапорной составляющей баланса потока

$$Q_{\text{б}} = \frac{2\pi \mu}{h_{\text{срт}}} \left[\beta \left(\frac{l^2 + 3r_0^2}{12} - \frac{r_0^2}{2} \ln \frac{l}{r_0} - \frac{r^3}{3l} \right) + h_0 \alpha \left(\frac{l^2 - 3r_0^2}{6} + \frac{r_0^2}{3L} \right) \right],$$

где

$$\alpha = \frac{S_0}{\bar{R} - (\ln \bar{R} - 1)}; \quad \beta = \frac{U_0 - h_0 \alpha \left(1 - \frac{r_0}{l}\right)}{\ln \frac{l}{r_0} - 1 + \frac{r_0}{l}}; \quad U_0 = 0,5 (h_0^2 - h_{\text{к}}^2).$$

Размер области фильтрации L , вовлеченной в процесс водоотбора, можно определить по следующей зависимости:

$$L = \sqrt{6a^*t - t_0} + \sqrt{6a^*t_0}.$$

Время t , за которое депрессионная поверхность на контуре водоотбора достигнет кровли напорного пласта, может быть определено по формуле

$$t_0 = \frac{\pi S_0 k m \mu^*}{q^2},$$

где km — проводимость пласта; a^* — коэффициент пьезопроводности; μ^* — упругая водоотдача пласта; q — линейный расход потока, формирующийся в напорной и безнапорной зоне пласта.

В соответствии с условиями интегрального баланса линейный расход потока будет

$$q = \frac{4S_0 km}{L - l} + \frac{2\mu l^2}{h_{cp}(t - t_0)} \left(\frac{q}{12k} + \frac{2S_0 h_0}{L - l} \right). \quad (12)$$

Зависимость (12) позволяет при известном значении L определить зону безнапорной фильтрации. Как и в предыдущих случаях, оценка общих водопритоков служит в дальнейшем основой для подбора кольцевой системы дренажа с целью осушения карьера (выбор количества скважин, расстояния между ними, их дебит и глубина заложения).

В заключение отметим, что в практике осушения горных разработок для простых условий могут быть применимы аналитические расчеты оценки контурных систем дренажных скважин, расположенных в виде: линейного ряда; кольцевой батареи; вокруг карьера; на флангах депрессионной воронки.

В сложных условиях решения задач по осушению горных работ целесообразно выполнять методом математического моделирования. Приведем в этом отношении несколько приемов применения аналитических решений для сравнительно простых гидрогеологических условий.

В практике освоения рудных месторождений часто встречаются условия, когда дренажные скважины с целью осушения горных разработок располагаются между карьером (вдоль откосов совершенного карьера) и рекой (вблизи откоса совершенного карьера). Такой дренажный линейный ряд скважин задается с целью защиты горных работ от обводнения, а также для обеспечения устойчивости бортов карьера (рис. 63). Подобные гидрогеологические условия отмечаются, например, на Аятском рудном месторождении и др. Особенность эксплуатации дренажных систем в таких условиях состоит в том, что в подошве водоносного горизонта при горизонтальном залегании водоупора имеет место «проскок» подземных вод в основание откоса борта карьера (см. точка А на рис. 63). Для условий безнапорного режима дебит

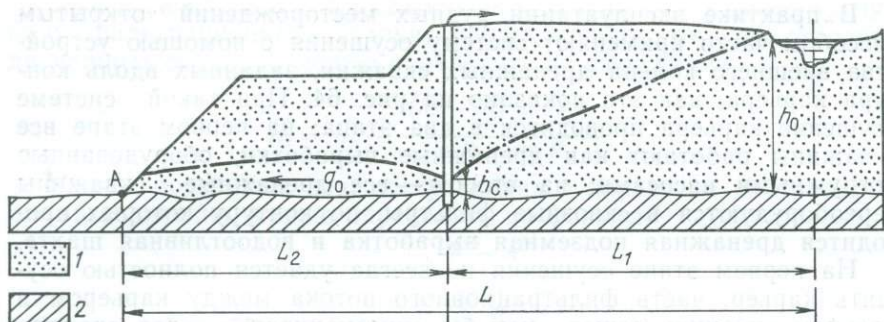


Рис. 63. Дренажная скважина вблизи откоса совершенного карьера (по В. М. Шестакову).

Породы: 1 — водоносные, 2 — водонепроницаемые

дренажной скважины можно определить по следующей зависимости [36]:

$$Q_{\text{СКВ}} = 0,5k \frac{h_0^2 \frac{L_2}{L} - h_c^2}{\frac{L_1 L_2}{bL} + f_{\text{КС}}} \quad (13)$$

В практических расчетах часто приходится задаваться проектной производительностью скважины $Q_{\text{СКВ}}$. При этих условиях выражение (13) можно представить в следующем виде:

$$b = 2 \frac{Q_{\text{СКВ}}}{k} \frac{L_1}{h_0^2 - \frac{L}{L_2} h_c^2 - 2 \frac{Q}{k} \frac{L}{L_2} f_{\text{КС}}}$$

где b — определяется подбором при заданном значении $Q_{\text{СКВ}}$ при условии осушения карьера; h_0 — глубина потока, «проскочившего» в карьер; h_c — мощность фильтрационного потока до начала проведения дренажных работ.

Для определения удельного расхода q_0 потока, выходящего на откос, можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$q_0 = k \frac{h_c^2}{2L_1} + \frac{Q}{L} f_{\text{КС}}$$

Величина $f_{\text{КС}}$ определяется из выражения $f_{\text{КС}} = 0,336 \lg \frac{1}{2\pi r_c}$,

где r_c — радиус скважины.

Величину удельного расхода потока q_0 , выходящего на откос карьера, как отмечает В. М. Шестаков, необходимо выбирать при расчетах, исходя из условий фильтрационной устойчивости откосов. Устойчивость откосов зависит от строения и литологического состава горных пород. На практике с целью повышения устойчивости откоса карьера применяют различные фильтрационные пригрузки в основании откоса.

В практике эксплуатации рудных месторождений открытым способом часто применяют систему осушения с помощью устройства внешнего кольца дренажных скважин, заданных вдоль контура карьера, как это показано на рис. 64. При такой системе осушение карьера проводится в два этапа: на первом этапе все скважины работают как дренажные выработки, оборудованные погружными насосами; на втором — все дренажные скважины переоборудуются в сквозные фильтры, по контуру которых проходит дренажная подземная выработка и водоотливная шахта.

На первом этапе осушения не всегда удается полностью осушить карьер, часть фильтрационного потока между карьером и кольцом скважин может как бы «проскакивать» через дренажную систему выработок. При осушении карьера в относительно простых и однородных гидрогеологических условиях определить дебит контурного дренажа кольцевой батареи скважин и расход потока, «проскакивающего» в карьер, можно приближенно аналитическими расчетами.

Для условий безнапорного потока и установившейся фильтрации дебит взаимодействующей скважины, расположенной в кольцевой батарее, может быть определен по зависимости:

$$Q_0 = \frac{\pi k \Delta h^2}{\frac{R_1^{n+1}}{\ln n r_0 R_0^n} - \frac{n \ln \frac{R_1}{R_2}}{\ln R_2 - \ln R_0}}; \quad (14)$$

$$\Delta h^2 = h_0^2 + (h_2^2 - h_0^2) \frac{\ln R_1 - \ln R_0}{\ln R_2 - \ln R_0} - h_1^2, \quad (15)$$

где n — число скважин в батарее; h_1 и h_2 — глубина потока соответственно в дренажной скважине и области питания.

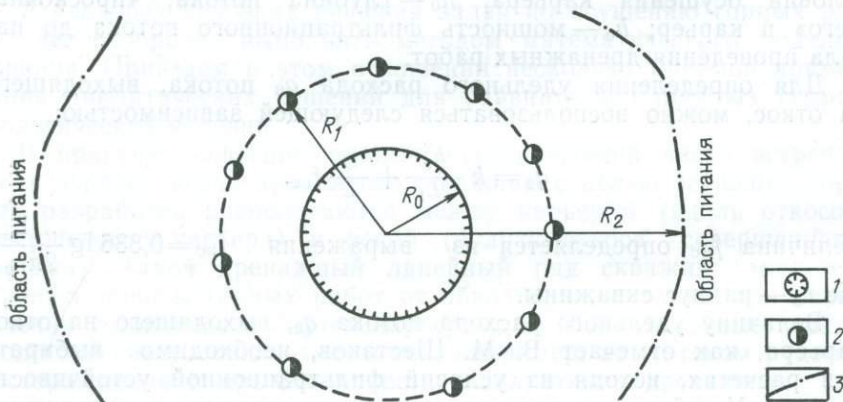


Рис. 64. Схема расположения кольцевого дренажа скважин:

1 — карьер; 2 — дренажные скважины; 3 — граница области питания

Между контурами заградительного дренажа и карьером глубину фильтрационного потока, «проскакиваемого» со стороны дренажных скважин, можно определить из выражения

$$h_2^2 = h_e^2 - \frac{(h_1^2 - h_0^2) \ln \frac{R_1}{r}}{\ln R_1 - \ln R_0},$$

Расход подземных вод, поступающих в карьер на внутрикарьерный водоотлив, можно определить по формуле

$$Q_k = \pi k \frac{h_1^2 - h_0^2}{\ln \frac{R_1}{R_0}}.$$

С помощью приведенных выражений можно производить оценку эффективности действующего заградительного скважинного дренажа, а по формулам (14) и (15) — выполнить аналитические расчеты для сквозных фильтров при переходе на второй этап осушения карьера. Для использования вышеприведенных зависимостей в условиях распространения на рудном месторождении напорных вод необходимо заменить значение h_0^2 на $2mH_0$, h_1^2 на $2mH_1$ и h_2^2 на $2mH_2$, где m — мощность водоносного горизонта; H_0 , H_1 и H_2 — величины напоров на соответствующих контурах.

Промышленная обработка некоторых рудных месторождений может происходить, например, в таких гидрогеологических условиях, когда в разрезе надрудной толщи пород распространено два водоносных напорных горизонта, разделенных между собой слабопроницаемыми породами (рис. 65). При подземной си-

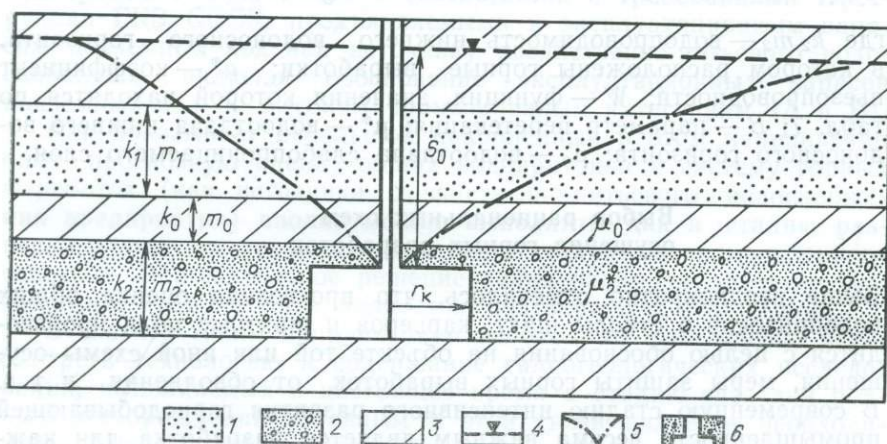


Рис. 65. Схема определения общих водопритоков в систему подземных горных выработок при наличии двух напорных водоносных горизонтов:

1 — верхний водоносный горизонт; 2 — нижний водоносный горизонт; 3 — слабопроницаемые породы; 4 — статический уровень; 5 — депрессионная кривая; 6 — горная выработка

ТАБЛИЦА 7

Значения функции $W(\alpha; r_K/B)$

α	Значения функции W при r_K/B , равном								
	0,01	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2
0,0005	6,975	6,853	4,853	3,504	2,228	1,553	1,13	0,841	0,227
0,001	6,307	5,796	4,829	3,504	2,228	1,553	1,13	0,841	0,227
0,005	4,721	4,608	4,296	3,457	2,28	1,553	1,13	0,841	0,227
0,01	4,036	3,98	3,815	3,288	2,225	1,552	1,13	0,841	0,227
0,05	2,468	2,458	2,427	2,311	1,928	1,493	1,121	0,841	0,227
0,1	1,823	1,818	1,805	1,753	1,564	1,312	1,05	0,819	0,227
0,5	0,56	0,559	0,558	0,553	0,534	0,504	0,465	0,421	0,194
1	0,219	0,219	0,219	0,218	0,214	0,206	0,197	0,186	0,114
2	0,049	0,049	0,049	0,049	0,048	0,047	0,046	0,044	0,034
5	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

стеме разработки месторождения, если подземные горные выработки на объекте располагаются в нижнем водоносном горизонте, общие водоприток в систему горных работ при условии перетекания могут быть определены по формулам

$$Q = \frac{8\pi (k_2 m_2) S_0}{-Ei\left(-\frac{r_K^2}{4a^*t}\right) + W\left(\alpha; \frac{r_K}{B}\right)};$$

$$a^* = \frac{km_2}{\mu_2 + \mu_0/2}; \quad \alpha = \frac{r_K^2}{4a_1^*t}; \quad a_1^* = \frac{km}{\mu^* + \frac{\mu_0}{6}}; \quad B = \sqrt{\frac{k_2 m_2 m_0}{k_0}},$$

где $k_2 m_2$ — водопродимость нижнего водоносного горизонта, в котором расположены горные выработки; a^* — коэффициент пьезопроводности; W — функция, значения которой находятся по табл. 7; B — параметр перетекания; μ^* — водоотдача нижнего водоносного горизонта; μ_0 — водоотдача слабопроницаемого слоя.

Выбор рациональных схем осушения горных разработок

Выше неоднократно отмечалось, что прогнозная оценка общих водоприток в стволы шахт, карьеров и шахтные поля производится с целью обоснования на объекте той или иной схемы осушения, меры защиты горных выработок от обводнения и т. д. В современную стадию интенсивного развития горнодобывающей промышленности весьма важным является разработка для каждого конкретного объекта наиболее рациональной схемы осушения горных выработок.

В процессе промышленной отработки рудных объектов, как подчеркивалось выше, должны быть обеспечены: а) безопасные

гидрогеологические и инженерно-геологические условия ведения горноподготовительных и горнодобычных работ; б) комплексное использование всех видов полезных ископаемых, в том числе рудничных вод; в) охрана и защита геологической и окружающей среды в целом от негативного влияния техногенеза; г) наиболее благоприятные социально-бытовые условия жизни трудящихся предприятия.

Эти основные требования должны быть положены в основу разработки наиболее рациональных схем осушения горных выработок, а также оптимального размещения на месторождении основных объектов горнорудного предприятия. Можно наметить следующие наиболее рациональные схемы осушения.

1. «Осушение — водоснабжение», при которой должны быть решены две крупные задачи — осушение горных выработок и непрерывное использование подземных вод для целей водоснабжения. В этой схеме для горнорудных предприятий могут быть два варианта: 1) осушение и хозяйственно-питьевое водоснабжение; 2) осушение и производственное водоснабжение.

Наиболее рациональным является первый вариант схемы. При внедрении этого варианта возникает необходимость устройства на объекте наземных или подземных внешних осушительных устройств (см. гл. 6), с тем чтобы обеспечить при осушении требования ГОСТ 2874—82, предъявляемые к качеству хозяйственно-питьевого источника водоснабжения и организации зоны санитарной охраны. В связи с этим возникает необходимость более строгого подхода к прогнозной оценке общих водопритоков в систему проектируемых осушительных устройств. Сущность этого положения состоит в том, чтобы прогнозную оценку общих водопритоков осуществлять в соответствии с требованиями Инструкции ГКЗ СССР, предъявляемыми к эксплуатационным запасам подземных вод как источнику хозяйственно-питьевого водоснабжения, включая обоснование эксплуатационных запасов подземных вод по высоким промышленным категориям (А и В).

Как показывает небольшой накопленный в этом направлении опыт, прогнозную оценку общих водопритоков в систему горных выработок (как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятия) вполне можно выполнить как в стадию разведки рудных месторождений, так и в стадию их промышленного освоения. Положительное решение таких задач на объектах Казахстана, Урала и КМА полностью подтверждает этот вывод.

В связи с таким направлением необходимо существенно пересмотреть технологию и содержание гидрогеологических исследований, выполняемых в настоящее время в стадию разведки рудных месторождений. Главным в этой связи является необходимость строгого учета в проекте исследований требований действующей Инструкции ГКЗ СССР [14], из которых вытекает более целенаправленное выполнение буровых и опытно-фильтрационных работ, а также детальное изучение качества подземных вод. В стадию разведки объекта надо произвести не только прогноз-

ную оценку возможных водопритоков в систему будущих горных выработок, но и оценить эксплуатационные запасы подземных вод как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения проектируемого предприятия и выполнить, таким образом, комплексную оценку использования подземных вод. Решение этих двух задач предусматривает использование различных гидрогеологических приемов для оценки водопритоков.

При выборе схемы «Осушение — хозяйственно-питьевое водоснабжение» в стадию разведки рудных месторождений требуется утверждение в ГКЗ СССР разведанных эксплуатационных запасов подземных вод.

Как следует из данных новой геолого-промышленной группировки (см. табл. 5), гидрогеологические исследования с целью комплексной прогнозной оценки водопритоков и эксплуатационных запасов подземных вод в стадию разведки целесообразно проводить преимущественно на рудных месторождениях, отнесенных к третьей и четвертой группам. Эти объекты имеют очень сложные природные условия, при которых, как правило, формируются значительные водопритоки в горные выработки. В меньшей степени комплексная оценка может быть выполнена и при разведке рудных месторождений, отнесенных ко второй группе. Что же касается объектов первой группы, имеющих, как правило, простые гидрогеологические условия промышленного освоения, то комплексную прогнозную их оценку выполнять целесообразно.

В стадию промышленного освоения рудных месторождений также успешно может быть решена проблема комплексного использования рудничных вод на предприятии. Эта проблема остро возникает в связи с постоянным ростом водопотребления предприятием. Как показывает опыт, почти на всех действующих горнорудных предприятиях в стадию эксплуатации объектов возникает необходимость в поисках дополнительного источника водоснабжения.

В условиях эксплуатации действующих на предприятии осушительных устройств главное направление исследований для комплексной оценки гидрогеологических условий состоит в организации целенаправленного стационарного изучения режима подземных вод. В связи с этим изучение внешних дренажных устройств на предприятии по своему содержанию должно отвечать требованиям стадии эксплуатационной разведки подземных вод и, следовательно, учитывать положения Инструкции ГКЗ СССР.

На некоторых объектах рудничные воды успешно используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения путем организации непосредственно в подземных горных выработках автономного и хорошо изолированного специального каптажного сооружения. На рудных месторождениях, в горных выработках которых подземные воды проявляются в форме крупных сосредоточенных притоков (до 2000—3000 м³/ч), такой вариант подзем-

ного автономного каптажа является весьма эффективным. Недостаток этой схемы каптажа состоит в том, что по мере углубления горных работ на нижние горизонты возникает необходимость перебазирования автономного водозаборного сооружения, с тем чтобы избежать возможного дренирования рудничных вод на участке каптажа под влиянием вновь пройденных горных выработок на более глубокие горизонты.

При внедрении в практику второго варианта схемы «осушение—водоснабжение» допускается более упрощенное гидрогеологическое обоснование и могут быть снижены требования к оценке качества рудничных вод. Объясняется это тем, что по второму варианту схемы требуется решить проблему производственного водоснабжения обогатительных фабрик, тепловых электростанций и других производственных объектов предприятия. В соответствии с этим положением рудничные воды могут быть использованы при любой схеме осушения горных работ с помощью внешних осушительных устройств при внутришахтном или внутрикарьерном водоотливе.

Что же касается количественной оценки подземных вод, то в этом случае требования (т. е. утверждение выявленных запасов подземных вод) должны быть выполнены, как и для первого варианта. На ряде крупных горнорудных предприятий СССР успешно внедрена вторая схема осушения, что полностью отвечает современным требованиям комплексного использования полезных компонентов рудных месторождений. В подавляющем большинстве случаев проблема использования рудничных вод для целей производственного водоснабжения была положительно решена в стадию эксплуатации рудных месторождений на базе результатов изучения режима подземных вод.

2. Рациональной также является схема «осушение—орошение». Суть этой схемы состоит в использовании рудничных вод для целей искусственного орошения земель, прилегающих к территории горного предприятия, а также земель непосредственно городских территорий. Особо важное значение эта схема имеет для горнорудных предприятий, расположенных в аридной зоне СССР. Схема «осушение—орошение» направлена на создание на предприятии культурного ландшафта, подсобного хозяйства и в конечном счете улучшение социально-бытовых условий жизни трудящихся горнорудного предприятия. Учитывая, что при этой схеме рудничные воды для целей орошения могут быть использованы периодически только в вегетативный период, целесообразно в остальное время года использовать откачиваемые из шахт или карьеров рудничные воды при строительстве малых прудов или небольших водохранилищ в зоне отдыха. В связи с целевым назначением схемы «осушение—орошение» необходимо постоянно изучать качество рудничных вод, что должно входить в состав исследований рудничной гидрогеологической службы предприятия.

В качестве примера внедрения в практику схемы «осушение—орошение» можно привести одно из горнорудных предприятий Казахстана, где успешное использование рудничных вод для целей орошения и создания зоны отдыха позволило город горняков, расположенный в полупустынной зоне, преобразовать в цветущий оазис с прекрасными парками, фруктовыми садами и виноградниками. В этом отношении имеются хорошие примеры использования рудничных вод для целей орошения в Узбекистане и Киргизии.

Для того чтобы обеспечить практическое внедрение схемы «осушение—орошение», необходимо на каждом конкретном объекте непосредственно в проектах строительства предприятия рассматривать в культурно-социальном направлении мероприятия как составную часть всего комплекса промышленной отработки рудных месторождений.

Выше отмечалось, что при осушении горных разработок на некоторых рудных объектах приходится иметь дело с высокоминерализованными водами, вплоть до рассолов (с минерализацией от 10—20 до 170—220 г/л). При таких гидрогеологических условиях в промышленном освоении рудных месторождений возникает очень сложная проблема сброса минерализованных рудничных вод. В соответствии с современными требованиями по охране окружающей среды сброс минерализованных вод непосредственно на поверхность в водоемы или водотоки категорически запрещен. Следовательно, для таких рудных месторождений должны быть разработаны не стандартные, а индивидуальные схемы осушения горных разработок. В зависимости от конкретных геолого-структурных и гидрогеологических условий на изучаемых рудных объектах с высокоминерализованными водами могут быть применены три схемы осушения: а) «осушение—захоронение»; б) «осушение—закачка»; в) «осушение и извлечение». Рассмотрим принципиальную сущность этих схем.

Схема «осушение—захоронение», как следует из ее названия, предусматривает при осушении горных разработок подземное захоронение минерализованных или рассольных рудничных вод в более глубокие горизонты земной коры [8]. Для этой цели вблизи горнорудного предприятия должны быть выявлены благоприятные геолого-гидрогеологические структуры для захоронения рассолов (наличие благоприятных коллекторов-приемников). В Советском Союзе накоплен достаточный опыт подземного захоронения токсичных промышленных стоков предприятий, а также опыт законтурного и внутриконтурного заводнения нефтяных месторождений с использованием рассольных нефтяных вод. Способ нагнетания рассолов в приемные скважины вполне возможно использовать в практике горнорудной промышленности при осушении горных разработок на месторождениях, где рудничные воды имеют высокую минерализацию. Схема «осушение—захоронение» с помощью нагнетательных скважин может позволить полностью исключить сброс минерализованных руд-

ничных вод на поверхность и тем самым обеспечить охрану окружающей среды от загрязнения.

Недостатком схемы «осушение—захоронение» является ограниченный объем захоронения (ограниченная приемистость глубоких коллекторов). Как показывает практика, приемистость коллекторов глубоких структурных горизонтов в системе поглощающих скважин чаще всего ограничивается расходами рассолов или промышленных стоков в пределах 200—300 м³/ч. При этом оптимальные интервалы глубин для подземного захоронения, как следует из опыта сброса промстоков, находятся в интервале от 500 до 1700 м. Горные породы более глубоких горизонтов характеризуются довольно низкими фильтрационными свойствами, поэтому и возникают сложности сброса рудничных вод на глубины ниже оптимальных интервалов.

Совершенно очевидно, что рассматриваемая схема осушения горных разработок требует проведения специальных разведочных и опытных гидрогеологических работ. Такие исследования целесообразно выполнять главным образом в стадию разведки рудных месторождений с тем, чтобы заблаговременно положительно решить проблему захоронения рассольных рудничных вод. Результаты исследований в этом направлении позволяют предусмотреть мероприятия непосредственно в проекте промышленного освоения рудных месторождений.

Вместе с тем такие специальные гидрогеологические исследования целесообразно проводить в стадии строительства предприятия и эксплуатации рудных месторождений. Основные способы и методы захоронения промышленных стоков в недра земли, подробно изложенные в работе [8], можно использовать для решения проблемы по схеме «осушение—захоронение».

Оригинальной может быть схема «осушение—закачка». Суть ее заключается в следующем. При осушении горных работ откачиваемые минерализованные рудничные воды не сбрасываются на поверхность, а по трубопроводу отводятся на некоторое расстояние от объекта и с помощью нагнетательных скважин закачиваются в тот же водоносный горизонт рудовмещающих пород. При этой схеме на участке закачки объем рассолов будет растекаться радиально во все направления, часть его может быть направлена в сторону горных разработок. В водоносном горизонте на фронте работ «горные работы—закачка» будет формироваться полузамкнутая балансовая схема. Представляется, что путем регулирования отбора рудничных вод и системы закачки можно получить эффект осушения рудных залежей и обеспечить охрану окружающей среды.

В настоящее время на одном из рудных объектов, где рудничные воды имеют высокую минерализацию, проводятся специальные исследования с целью обоснования и внедрения в практику схемы «осушение—закачка».

Не менее важной для практики может быть схема «осушение—извлечение». Сущность ее заключается в том, что на гор-

норудном предприятии организуется несложная технологическая схема, позволяющая извлечь из рудничных вод (рассолов) все основные полезные компоненты. Только после этого без ущерба для окружающей среды рудничные воды можно будет сбрасывать в ближайшие поверхностные водотоки. Извлечение полезных компонентов из рассолов можно рассматривать как эффективное средство очистки рудничных вод.

Во ВСЕГИНГЕО разработаны довольно простые технологические схемы извлечения из рассолов основных полезных компонентов, которые могут быть использованы на горнорудных предприятиях.

В последнее время в публикациях в нашей стране и за рубежом освещается интересная схема возможного осушения горных разработок на рудных месторождениях под защитой противофильтрационных завес, пройденных по контуру горных работ. Схема эта позволяет осуществить защиту естественных ресурсов и запасов пресных подземных вод от их истощения, что очень важно для районов с острым дефицитом водных ресурсов. В нашей стране и за рубежом имеется опыт применения противофильтрационных завес в практике гидротехнического и промышленного строительства. Наибольшая глубина освоения противофильтрационных завес составляет примерно 100—150 м. В практике осушения горных разработок на рудных месторождениях пока такого опыта нет. Естественно, что в этом направлении возникают сложности, особенно в отношении глубин заложения завес и применения технических средств для этой цели. Однако по своему содержанию и направленности схема «осушение под защитой завес» является прогрессивной, и ее изучение должно входить в общую проблему повышения эффективности промышленного освоения рудных месторождений.

Оценка эксплуатационных запасов рудничных (шахтных) вод

Выше неоднократно говорилось о необходимости использования при осушении горных разработок рудничных (шахтных) вод для целей водоснабжения и орошения. Совершенно естественно, что эта задача должна решаться на современном инженерном уровне в соответствии с существующими требованиями проектирования. В связи с этим возникает необходимость оценки и утверждения эксплуатационных запасов рудничных вод в ГКЗ СССР или территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых, организованных в республиканских производственно-геологических объединениях (ТКЗ).

Как следует из действующей Инструкции ГКЗ СССР, эксплуатационные запасы подземных вод оцениваются и учитываются по результатам проведенных на месторождении разведочных гидрогеологических работ, а также по данным эксплуатации подземных вод. Следовательно, стационарные наблюдения за режи-

мом подземных вод, которые выполняются на осушительных устройствах горнорудных предприятий, можно рассматривать как целенаправленные гидрогеологические исследования, которые проводятся обычно в стадию эксплуатационной разведки собственно месторождений подземных вод.

Данные об утвержденных запасах подземных вод в дальнейшем используются для разработки проекта водоснабжения горнорудного предприятия. Действующие при горных разработках осушительные устройства вполне правомочно рассматривать как различные типы водозаборных сооружений, построенных в конкретных гидрогеологических условиях. Например, внешние водопонизительные скважины или сквозные фильтры с системой подземных дренажных (также внешних) горных выработок, пройденные по внешнему контуру карьера с целью опережающего его осушения, вполне можно отнести к водозаборным сооружениям кольцевой или линейной системы. Системы внешних дренажных узлов, устроенных с поверхности между контуром горных работ и контуром постоянного напора (например, рекой или водоемом), заданных с целью перехвата части фильтрационного потока, можно рассматривать как водозаборные сооружения инфльтрационного типа, работающие в условиях взаимодействия с внутришахтным водоотливом. Сложней оценивать тип водозаборного сооружения, когда осушительная система представлена системой внутришахтного водоотлива непосредственно в подземных горных выработках. Преобразование такого типа водозабора в систему «большого колодца» до некоторой степени условно в связи с тем, что водоприемная часть водозабора (система горных выработок), как отмечалось ранее, периодически изменяется в пространстве (так как на предприятии происходит постоянное развитие горных работ).

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения горнорудного предприятия рудничные воды могут быть использованы в том случае, если они по своему качеству (химическому составу и санитарному состоянию) полностью отвечают требованиям ГОСТ 2874—82. Исходя из этих требований, для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения рекомендуется использовать главным образом рудничные воды, отбираемые с помощью внешних осушительных устройств или автономных каптажей, устроенных в подземных горных выработках. Во всех остальных случаях по санитарному состоянию рудничные воды могут быть использованы для производственного водоснабжения или орошения.

Оценка эксплуатационных запасов рудничных вод должна выполняться в соответствии с требованиями, изложенными в действующей Классификации эксплуатационных запасов подземных вод (ГКЗ СССР) и инструкции по ее применению. Под эксплуатационными запасами понимается количество подземных вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и качестве

воды, удовлетворяющем требованиям в течение расчетного срока водопотребления. К сожалению, конкретных указаний по оценке эксплуатационных запасов именно рудничных вод в инструкции не изложено: они разрабатываются в настоящее время ВСЕГИНГЕО и будут в дальнейшем приняты в качестве официального документа ГКЗ СССР.

В отличие от собственно месторождений подземных вод оценка эксплуатационных запасов рудничных вод имеет свои особенности. Они заключаются в том, что периодически, как отмечалось выше, по мере развития подземных и открытых горных работ на изучаемом объекте изменяется площадь водоприемной части в плане или разрезе. Именно поэтому при оценке эксплуатационных запасов рудничных вод необходимо учитывать не только гидрогеологические условия участка осушительных устройств, но и периодически изменяющиеся горнотехнические условия объекта. При значительных изменениях горнотехнических условий, происходящих в процессе длительного промышленного освоения объекта (рудные объекты могут отрабатываться более 50—80 лет), возникает необходимость в периодической переоценке эксплуатационных запасов рудничных вод. По опыту работы горнорудных предприятий Минцветмета наиболее существенно горнотехнические условия чаще всего изменяются примерно через 12—15 лет.

Во всех случаях оценка эксплуатационных запасов рудничных вод в конечном счете сводится к определению устойчивой производительности действующих осушительных устройств, дебит которых отвечает конкретным условиям понижения уровня на данную глубину отработки рудного месторождения. При этом к утверждению в ГКЗ СССР целесообразно представлять среднесуточное значение минимальной производительности осушительных устройств.

В настоящее время в практике гидрогеологической службы СССР оценка эксплуатационных запасов подземных вод выполняется с помощью следующих методов: гидродинамического, гидравлического, комбинированного (когда привлекаются одновременно два метода), балансового, а также метода аналогии. Гидродинамический метод основан на базе применения относительно строгих математических зависимостей, описываемых дифференциальными уравнениями фильтрации потока. Он состоит из двух разновидностей: аналитических расчетов применительно к типовым расчетным схемам и метода математического моделирования на АВМ или ЭВМ.

Для простых гидрогеологических условий (например, для линейного ряда водопонизительных скважин, заданных между рекой и контуром карьера) для оценки запасов чаще всего применяются аналитические расчеты; для сложных условий (например, для условий взаимодействия осушительных устройств и внутришахтного водоотлива) применяется метод математического моделирования.

Гидравлический метод оценки запасов подземных вод основан на использовании гидрогеологической информации, полученной непосредственно по данным опытных работ или эксплуатации (например, данные по эксплуатации осушительных устройств). Практически оценка запасов основана на закономерности изменения дебита, например, осушительных устройств от величины понижения уровня подземных вод, устанавливаемой графически по данным режимных наблюдений с учетом допустимой экстраполяции по кривым дебита. Сущность балансового метода для оценки эксплуатационных запасов заключается в составлении баланса подземных вод района работы водозаборных (осушительных) сооружений.

Учитывая, что на горнорудных предприятиях, как правило, проводятся стационарные наблюдения за режимом подземных вод в районах осушительных устройств, оценку эксплуатационных запасов рудничных вод целесообразно выполнять гидродинамическим и гидравлическим методами. По данным режима длительного опыта работы осушительных устройств эксплуатационные запасы рудничных вод могут быть отнесены к высоким категориям А и В и использованы для обоснования проекта водоснабжения.

Стационарные наблюдения за режимом работы осушительных устройств применительно к оценке эксплуатационных запасов рудничных вод целесообразно проводить на рудных объектах, преимущественно отнесенных к третьей и четвертой группам по степени сложности гидрогеологических условий, имеющих, как правило, высокую степень обводненности. Общие водопритоки на них могут достигать 50—150, реже более 250—300 тыс. м³/сут. В меньшей степени эти рекомендации относятся к рудным объектам, отнесенным ко второй группе, где суммарные водопритоки могут достигать 12—24 тыс. м³/сут. Для утверждения эксплуатационных запасов рудничных вод в этом случае целесообразно обращаться либо в ГКЗ СССР (для месторождений третьей и четвертой групп), либо в ТКЗ (для месторождений второй группы). На рудных месторождениях первой группы, имеющих слабую степень обводненности — с общими водопритоками от 2 до 5 тыс. м³/сут, утверждение и оформление эксплуатационных запасов в ГКЗ СССР или ТКЗ нецелесообразно. Эти воды могут быть использованы для различных нужд без утверждения эксплуатационных запасов.

В процессе проведения стационарных наблюдений за режимом рудничных вод на участках действующих осушительных устройств применительно к оценке их эксплуатационных запасов необходимо изучить: а) дебит каждой водопонизительной скважины и суммарную производительность установки в целом; б) динамический уровень рудничных вод в водопонизительных и наблюдательных скважинах; в) химический состав и санитарно-бактериологические свойства рудничных вод и их температуру.

В настоящее время в практике гидрогеологической службы СССР накоплен небольшой опыт официальной оценки эксплуатационных запасов рудничных вод для целей водоснабжения и орошения, однако настоятельная необходимость в этом вопросе давно назрела.

Целенаправленная работа в этом направлении проводится Уральской гидрогеологической экспедицией. На некоторых рудных объектах, находящихся в промышленном освоении, по результатам многолетних режимных наблюдений за производительностью внешних осушительных устройств и динамическим уровнем были оценены эксплуатационные запасы рудничных вод гравитационным методом. Так, на Ново-Троицком месторождении огнеупорных глин эксплуатационные запасы рудничных вод по высоким категориям были утверждены в ГКЗ СССР в количестве 12 тыс. м³/сут для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Багдановичи; по другому объекту были утверждены эксплуатационные запасы рудничных вод в количестве 14 тыс. м³/сут для целей водоснабжения г. Реж.

Местной гидрогеологической службой горнорудных предприятий Минцветмета СССР успешно решены вопросы хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Североуральска и Кентау за счет использования рудничных вод. На объектах эксплуатации железорудных месторождений КМА также успешно используются рудничные воды для целей хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения горнорудных предприятий.

Так, на Михайловском железорудном месторождении КМА были утверждены ГКЗ СССР эксплуатационные запасы рудничных вод. Это месторождение обрабатывается карьерным способом. По периметру карьера создана опережающая (по глубине) система подземного дренажа, состоящая из кольцевой схемы горизонтальных подземных дренажных выработок с двумя водотливными шахтами, сквозными скважинными фильтрами и водобросными скважинами, пройденными со дна карьера.

Рудные залежи приурочены к кристаллическим породам фундамента платформы; к надрудной толще песчано-глинистых и карбонатных пород мезо-кайнозойского и среднего девонского возраста приурочено три основных водоносных горизонта. С нарастающей эксплуатацией месторождения уровня подземных вод были снижены в районе карьера на 55—65 м, а депрессионная воронка распространилась на 40—50 км.

Оценка эксплуатационных запасов рудничных вод была выполнена гидродинамическим методом на основании гидрогеологических материалов стационарных наблюдений за режимом подземных вод, характеризующих опыт осушения карьерного поля, а также на действующих в зоне влияния карьера водозаборах. Были выполнены сбор, обобщение и анализ большого фактического материала многолетних наблюдений, а также гидрогеологических материалов разведки месторождений. В связи со сложными граничными условиями фильтрационных потоков

в плане и разрезе исследования по оценке эксплуатационных запасов рудничных вод были выполнены методом аналогового моделирования применительно к существующей дренажной системе с учетом дальнейшего углубления карьера и одновременного осушения всех водоносных горизонтов.

Для обоснования достоверности построения математической модели изучаемого объекта необходимо было вначале решить обратную задачу с целью уточнения основных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов — проводимость и емкостные свойства водоносных и разделяющих слоев, а также граничных условий фильтрационного потока. В расчетах была принята схема многопластовой толщи, состоящая из трех водоносных горизонтов и двух слабопроницаемых слоев. По результатам первого этапа моделирования была уточнена геофильтрационная схема, отражающая природные гидрогеологические условия месторождения. Затем была выполнена собственно прогнозная задача по оценке эксплуатационных запасов рудничных вод. Задача решалась на региональной модели в нестационарной постановке, учитывающей развитие во времени площади депрессионной воронки, расположения действующих водозаборов, водохранилищ и др. Водопритоки в осушительной системе на модели подбирались подключением по контуру дренажных выработок граничных условий второго рода при заданных значениях понижения и времени осушения.

На втором и последующих этапах моделирования водопритоки оценивались на период длительной эксплуатации горнодобывающего предприятия, чаще всего продолжительностью до 20—30 лет.

При исследовании на моделях обратных и прогнозных задач учитывался режим источников питания по водности года (по количеству выпадающих атмосферных осадков и поверхностного стока в маловодные годы, а также в среднемноголетнем разрезе). Это позволяет оценить эксплуатационные запасы рудничных вод в зависимости от водности года, при этом наиболее достоверными считают запасы по данным маловодного года. Они и принимаются в качестве достоверной оценки эксплуатационных запасов.

В результате решения непосредственно прогнозной задачи на утверждение в ГКЗ СССР были представлены эксплуатационные запасы рудничных вод в количестве, которое позволяет обеспечить крупный горнопромышленный район технической водой.

В данных конкретных гидрогеологических условиях очень важной проблемой является охрана окружающей среды при дальнейшем осушении карьера, и прежде всего вопросы возможного истощения запасов подземных вод на действующих водозаборах. Исследования на модели показали, что существенных техногенных изменений гидрогеологических условий района не ожидается.

ТАБЛИЦА 8

Типизация осушительных устройств и гидрогеологических условий рудных месторождений в стадии промышленного освоения

Система осушительных устройств	Гидрогеологические условия
<i>При подземном (шахтном) способе</i>	
Система взаимодействующих внешних осушительных устройств (площадная или линейная) и внутришахтного водоотлива	В рудовмещающих породах и породах надрудной толщи распространены трещинные, трещинно-жильные или трещинно-карстовые воды, реже грунтовые воды рыхлых образований, гидравлически связанные с поверхностными (постоянно действующими) водами (рек, озер, водохранилищ)
Подземные дренажные устройства (в комбинации со сквозными фильтрами) в породах надрудной толщи, без взаимодействия с внутришахтным водоотливом	Распространены подземные воды напорных горизонтов водоносного комплекса надрудной толщи пород (пластовые, трещинные и трещинно-карстовые воды), а также грунтовые воды рыхлых образований
Внутришахтный водоотлив: а) с автономным подземным каптажем (в подземных горных выработках): б) без автономного каптажа (все водопритоки принимаются в единый шахтный водоотлив)	Преимущественно трещинно-жильные, трещинно-карстовые воды, а также грунтовые воды рыхлых образований: а) гидравлически связанные с временно действующими поверхностными потоками; б) в отсутствие поверхностных потоков площади горных выработок
<i>При карьерном способе</i>	
Внешнее опережающее осушение (кольцевая система водопонижительных скважин, сквозных фильтров и подземных дренажных выработок) без внутрикарьерного водоотлива Внешние осушительные устройства, работающие во взаимодействии с внутрикарьерным водоотливом	Распространены преимущественно трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды Распространены трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды рудовмещающих пород, грунтовые воды рыхлых образований, гидравлически связанные с рекой
Внутрикарьерный водоотлив	Распространены преимущественно трещинно-жильные и трещинные воды

рождений применительно к оценке эксплуатационных запасов пресных рудничных ленной их отработки

Балансовая структура водопритоков	Использование рудничных вод	Примеры из практики
-----------------------------------	-----------------------------	---------------------

собе промышленной отработки

<p>Сложная — естественные ресурсы, естественные запасы рудничных вод, а также привлекаемые ресурсы за счет инфильтрации поверхностных вод</p>	<p>Дебит внешних осушительных устройств — для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Дебит внутришахтного водоотлива — для производственного водоснабжения и орошения Для хозяйственно-питьевого водоснабжения</p>	<p>Северо-Уральские рудные месторождения, Тишинское, рудные месторождения Урала, Казахстана</p>
<p>Сложная — естественные запасы и естественные ресурсы (водопритоки формируются в условиях взаимодействия между водоносными горизонтами)</p>	<p>Дебит автономного каптажа — для хозяйственно-питьевого водоснабжения</p>	<p>Яковлевское, в дальнейшем могут быть Гостищенское, Висловское, рудные месторождения КМА и др.</p>
<p>Сложная — естественные запасы, естественные ресурсы подземных вод и периодически привлекаемые ресурсы</p>	<p>Дебит внутришахтного водоотлива — для производственного водоснабжения и орошения</p>	<p>Миргалимсайское рудное месторождение и др.</p>
<p>Сравнительно простая — естественные запасы и естественные ресурсы рудничных вод</p>		<p>Зыряновское, Лениногорское, Николаевское, рудные месторождения Урала</p>

промышленной отработки

<p>Простая — естественные запасы и естественные ресурсы рудничных вод</p>	<p>Дебит осушительных устройств — для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения</p>	<p>Жайремское, Тишинское, Лебединское и др.</p>
<p>Сложная — естественные запасы, естественные ресурсы подземных вод и привлекаемые ресурсы</p>	<p>Дебит внешних осушительных устройств — для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения Дебит внутрикарьерного водоотлива — для производственного водоснабжения или орошения</p>	<p>Горевское, Лениногорское, некоторые рудные месторождения КМА и др.</p>
<p>Простая — естественные ресурсы и естественные запасы подземных вод</p>	<p>Дебит рудничных вод — для производственного водоснабжения или орошения</p>	<p>Каджаранское, Алмалыкское, Сорское и др.</p>

Накопленный, таким образом, в этом отношении опыт на Урале, КМА и в Казахстане указывает на высокую эффективность исследований, обеспечивающих рациональное использование рудничных вод при осушении горных разработок на рудных месторождениях.

В табл. 8 в обобщенном виде приведена типизация осушительных устройств и гидрогеологических условий рудных месторождений применительно к оценке эксплуатационных запасов рудничных вод. По степени сложности горнотехнических условий типизация выполнена отдельно для подземного и карьерного способов отработки месторождений. Эту типизацию можно использовать для выбора метода оценки запасов, а также определения целевого назначения рудничных вод. Например, для сложных условий, к которым следует отнести первый, второй и пятый типы, оценку эксплуатационных запасов рудничных вод целесообразно выполнить методом математического моделирования на АВМ или ЭВМ; рудничные воды можно рекомендовать для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Для условий, характеризующих все остальные выделенные типы, оценку эксплуатационных запасов рудничных вод можно выполнить аналитическими расчетами или гидравлическим методом; рудничные воды по санитарному состоянию можно рекомендовать для производственного водоснабжения или орошения.

Глава 12

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Общие положения

Решение прогнозных гидрогеологических задач с помощью методов математического моделирования на рудных объектах со сложными (третья группа месторождений) и особо сложными (четвертая группа месторождений) условиями имеет ряд преимуществ перед аналитическими расчетами, а именно позволяет: а) более строго учесть конфигурацию сложных граничных условий фильтрационного потока в плане и разрезе, условия питания подземных вод, а также фильтрационную неоднородность водовмещающих пород; б) в значительной степени уточнить расчетные гидрогеологические параметры водоносных и разделяющих пород; в) выполнить на машине многовариантное решение прикладных прогнозных задач и выбрать из них наиболее оптимальный вариант, позволяющий обеспечить наиболее эффективное

осушение горных разработок и обосновать рациональные мероприятия по защите окружающей среды.

Физико-математическое моделирование природных и техногенных гидрогеологических процессов на современных АВМ и ЭЦВМ следует рассматривать как один из важнейших научных методов познания сложных гидрогеологических условий [16]. Это положение целиком относится к решению гидрогеологических задач в области эффективного осушения горных разработок на рудных месторождениях, а также задач в области охраны и защиты окружающей среды при их многолетней эксплуатации.

На данном этапе развития математического моделирования можно выделить три основных его направления: а) аналоговое, основанное на электродинамической аналогии, модель в этом случае создается из сплошных сред или дискретных токопроводящих элементов (сплошные и сеточные аналоговые модели); б) программное или цифровое моделирование, основанное на использовании метода конечных элементов или конечных разностей и современных ЭВМ; в) моделирование с использованием гибридных систем, представляющих собой автоматизированные сеточные модели, управляемые ЭЦВМ. Благодаря своей простоте и доступности для широкого круга специалистов-гидрогеологов наибольшее распространение в решении гидрогеологических задач получило аналоговое моделирование.

Следует отметить большие успехи и перспективность программного моделирования с использованием ЭВМ в решении прямых (прогнозных) задач. Подготовка к выполнению численного моделирования включает разработку математического и программного обеспечения для ЭВМ, представление исходной гидрогеологической информации в кодах и символах для ЭВМ. В законченном виде модель для ЭВМ представляет собой комплекс программ и набор перфокарт, содержащих закодированную исходную информацию о моделируемом объекте. В настоящее время при моделировании процесса осушения горных разработок используются обычно разработанные типовые программы.

Решение гидрогеологических задач в области определения водопритоков и выбора схем осушения горных разработок можно выполнить в двух вариантах: а) для одиночных, но сложных рудных объектов задачи могут быть решены с помощью существующих сеточных моделей АВМ, позволяющих сравнительно быстро произвести необходимый набор сопротивлений, емкостей и осуществить переход от одной задачи к другой; б) для группы близко расположенных месторождений, промышленная отработка которых осуществляется одновременно с большим количеством взаимодействующих осушительных устройств и водозаборных сооружений, решение задач целесообразно производить на специально созданных постоянно действующих моделях (на АВМ и ЭВМ).

Постоянно действующие модели позволяют систематически устанавливать и своевременно контролировать рациональные условия осушения рудных месторождений, обосновать мероприятия по защите окружающей среды без выполнения большого объема дополнительных гидрогеологических работ, а также разработать долгосрочные прогнозы развития депрессионных воронок. Такие постоянно действующие модели, например, можно создать в целом для района расположения рудных месторождений КМА, где действует в настоящее время ряд крупных осушительных устройств при карьерной отработке близко расположенных объектов, для Криворожского железорудного бассейна.

При моделировании систем осушения горных разработок основным критерием является заданная величина понижения уровня подземных вод (глубина отработки рудного месторождения), при которой должны быть обеспечены безопасные условия отработки объекта. Такой подход вызывает необходимость проведения моделирования в горнодобывающей промышленности в условиях сработки естественных запасов подземных вод, нередко при полном осушении части или всей мощности водоносного горизонта. Моделирование с целью оценки общих водопритоков и процесса осушения горных разработок предполагает также определение необходимого времени водопонижения и увязку этого времени с графиком ведения горных работ на предприятии. При этом целесообразно рассмотреть несколько вариантов схем осушения, схем и технологических приемов проведения горных работ, а также учесть все техногенные изменения, которые произошли в стадию эксплуатации рудного объекта.

Теоретические, методические и прикладные аспекты математического, главным образом аналогового, моделирования применительно к решению гидрогеологических задач разрабатывались В. М. Шестаковым, Л. К. Гохбергом, И. С. Пашковским, И. К. Гавич, Д. И. Пересунько, И. И. Крашиным, В. С. Плотниковым, И. Е. Жерновым, В. И. Лялько, Г. А. Шнейдерманом, В. А. Мироненко и многими другими. Теоретические основы и методика моделирования достаточно подробно описаны в публикациях указанных авторов [5, 15, 16, 31, 34, 36]. Поэтому в настоящей главе рассмотрены общие методические приемы применения аналогового моделирования для решения фильтрационных задач, а также приведены требования, перечень и содержание исходной гидрогеологической информации.

Этапы исследований

Важным разделом этих исследований является постановка задачи для моделирования — каковы проектные проработки дальнейшей отработки рудного месторождения, необходимая глубина осушения горных разработок, сроки их проходки, степень обес-

печения и содержания необходимой гидрогеологической информации.

Исследования гидрогеологических процессов методами математического моделирования для целей оценки возможных водоприток и схем осушения обычно проводятся в несколько этапов.

Первый этап — целенаправленное обобщение и анализ имеющейся по району рудного месторождения исходной метеорологической, геологической, гидрологической и гидрогеологической информации с целью подготовки в систематизированном виде материалов для составления расчетной схемы и создания основы математической модели. На этом этапе в большом объеме проводятся специальные камеральные работы.

Второй этап — предусматривает выполнение районирования исследуемой территории применительно к условиям моделирования, а также преобразование (схематизация) природных гидрогеологических условий объекта в расчетную схему. Исследования этого этапа являются важными для обоснования исходной математической модели. Ответственным является переход от гидрогеологической схемы площади исследования к фильтрационной схеме. В основу специального микрорайонирования объекта для последующей схематизации должны быть положены факторы, определяющие особенности формирования естественных ресурсов и запасов подземных вод и возможных водоприток в горные выработки. К числу таких факторов можно отнести: гидрогеологические параметры, характеризующие водопроницаемость и емкость водоносных пород; геолого-гидрогеологическое строение водоносных горизонтов (мощность, однородность); геолого-структурные условия залегания горных пород (водоносных горизонтов и разделяющих слоев); связь подземных вод с источниками их питания (в том числе с поверхностными водами); гидравлическое состояние фильтрационного потока подземных вод; режим подземных вод в естественных и нарушенных условиях; химический состав подземных вод; горнотехнические условия объекта (условия отработки месторождения — способ, глубина отработки и др.).

Первичная схематизация гидрогеологической обстановки рудного объекта осуществляется обычными приемами в форме карт, разрезов, профилей, графиков с некоторым упрощением его природных условий. При этом целесообразно учитывать следующие принципы схематизации природных условий: а) упрощения структуры фильтрационного потока путем сведения пространственной фильтрации к более простой плановой или линейной; б) усреднения значений гидрогеологических параметров пласта и учета закономерностей их изменения по площади; в) упрощения строения водноносных толщ по вертикали, сведения многослойной структуры по гидрогеологическим признакам в одно- и двухслойную систему; г) схематизации граничных условий в плане — замена криволинейных функций ступенчатыми графиками; д) ограничения размеров области фильтрации путем учета краевых

границ влияния возмущающих факторов (радиус действия осушительных устройств).

Третий этап — построение на базе обобщенных гидрогеологических материалов и составленной расчетной схемы эквивалентной модели на АВМ.

Четвертый этап — предусматривает предварительные исследования на модели путем решения так называемых обратных задач с целью уточнения гидрогеологических параметров пласта, граничных условий изучаемого объекта, проверки и уточнения принятой расчетной схемы. Эти исследования, как отмечалось ранее, проводятся в два подэтапа. Первый подэтап — решение на модели стационарной задачи с целью уточнения значений проводимости пород, а также граничных условий фильтрационного потока, действующих в естественной (природной) обстановке. Второй подэтап — решение на модели нестационарной обратной задачи с целью уточнения емкостных характеристик водоносных пород и общей структуры модели.

Следует подчеркнуть, что решение собственно прогнозных задач без предварительного этапа корректировки расчетной схемы путем решения обратных задач, как показывает опыт, может привести к большим погрешностям и неприемлемым результатам.

Пятый этап — исследования на модели вариантных задач с целью прогнозной оценки гидрогеологических условий промышленной отработки месторождения, выбора рациональной схемы осушения и оценки необходимых мероприятий по защите окружающей среды.

Таким образом, отмеченная выше этапность или технология исследований на математической модели может решить следующие прогнозные задачи: а) определить суммарные прогнозные водопритоки в систему горных разработок и оценить источники обводнения горных выработок; б) выбрать рациональную схему осушения месторождения и средства защиты горных работ от подземных вод, а также оценить их эффективность; в) определить степень взаимодействия осушительных устройств с действующими водозаборными сооружениями на предприятии, по результатам которой можно разработать мероприятия по предотвращению возможного истощения запасов пресных подземных вод на водозаборном участке; г) оценить возможную площадь развития по площади депрессионной воронки сниженных уровней подземных вод, формирующихся под воздействием осушительных устройств на участке горных разработок и, таким образом, определить, в случае необходимости, меры защиты окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов; д) обосновать на площади горных разработок более рациональные размещения опорной и вспомогательной сети наблюдательных скважин для стационарного изучения режима подземных вод.

Таким образом, методом математического моделирования можно решить ряд очень важных прогнозных задач, позволяющих обосновать безопасные гидрогеологические условия промышленной отработки рудных месторождений. Решение перечисленных выше гидрогеологических задач можно выполнить на различных этапах изучения рудного объекта в стадию его разведки или стадию длительной эксплуатации.

Для стадии детальной разведки рудного месторождения результаты моделирования могут быть использованы в проекте промышленной отработки объекта, что очень важно в связи с требованиями по охране окружающей среды. В стадию эксплуатации месторождения очень часто возникают сложные гидрогеологические задачи, связанные с обоснованием промышленной отработки на объекте более глубоких рудных горизонтов и охраной нарушенной окружающей среды.

В практике гидрогеологических исследований имеется опыт оценки сложных и слабоизученных объектов путем математического моделирования на месторождении в определенной последовательности. Вначале проводится так называемое поисковое моделирование, когда оцениваются: а) в предварительном виде прогнозные задачи, а также степень геологической и гидрогеологической обеспеченности объекта имеющейся информацией применительно к требованиям моделирования; б) необходимость проведения дополнительных натуральных исследований их объемов на изучаемой площади.

По результатам поискового моделирования, таким образом, может быть разработан целенаправленный и достаточно осмысленный проект дополнительных геологических и гидрогеологических исследований, которые необходимо провести на объектах, имеющих сложные природные условия. Дополнительная информация по месторождению, полученная в результате проведенных специальных натуральных исследований, может служить хорошей основой для последующей завершающей стадии моделирования, когда более достоверно могут быть решены некоторые прогнозные задачи.

В заключение раздела целесообразно подчеркнуть еще одно весьма важное положение. Применение современных методов математического моделирования для решения гидрогеологических задач требует участие в этом процессе двух специалистов: гидрогеолога и математика (математика-исследователя и математика-программиста). Гидрогеологу крайне необходимо быть знакомым с общими теоретическими основами, основами метода, а также требованиями математического моделирования к информации. При этих условиях подготовка исходной гидрогеологической информации по объекту может быть проведена квалифицированно и целенаправленно.

С другой стороны, должны быть предъявлены требования и к специалистам математического профиля, работающим в области изучения гидрогеологических процессов. Они должны вла-

деть основами геологии и гидрогеологии. При такой взаимной интеграции знаний различных специализаций, направленных на достижение единой цели, можно успешно решать собственно гидрогеологические задачи с помощью современных прогрессивных методов.

Возникает, таким образом, необходимость тесного контакта гидрогеологов и математиков, одновременного участия их в исследованиях, а также совместной разработки единой программы гидрогеологических исследований при применении математических методов для прогнозной оценки промышленной отработки рудных месторождений.

Перечень и содержание гидрогеологических материалов, необходимых для моделирования

Применение метода математического моделирования для решения прикладных задач в области гидрогеологии рудных месторождений требует надежной и достоверной информации, подготовленной в систематизированном виде. Без необходимого объема гидрогеологической информации решить прикладные задачи моделированием практически невозможно. Именно поэтому метод математического моделирования предъявляет определенные требования и в то же время оказывает свое влияние на технологическую схему производства гидрогеологических работ в стадии разведки и эксплуатации рудных месторождений (так называемые обратные связи). Эти требования необходимо учитывать по отношению ко всем видам гидрогеологических исследований на рудных месторождениях. Основные требования к исходной гидрогеологической информации по существу определяются методикой моделирования на АВМ или ЭЦВМ. Рассмотрим в связи с этим необходимый перечень и краткое содержание исходной гидрогеологической информации для этих целей.

Необходимым условием подготовки исходных материалов для моделирования гидрогеологического процесса является составление карты комплексной изученности и фактического материала объекта исследований: геологической, геолого-структурной, гидрологической, геоморфологической, инженерно-геологической и гидрогеологической. Главное назначение комплексной карты состоит в том, что на ее основе в совокупности с другими материалами составляется в дальнейшем физическая модель объекта исследований путем преобразования природных условий в расчетную гидрологическую схему.

Такая карта должна быть составлена камеральным путем в результате систематизации и обобщения имеющихся материалов предыдущих исследований, а также гидрогеологических материалов, характеризующих результаты разведки и опыт осушения месторождения. Практика в этом отношении показывает, что в первую очередь должны быть составлены вспомогатель-

ные (рабочие) карты, отдельно отражающие фактический материал, степень изученности района в указанных выше направлениях, а также условия формирования фильтрационного потока. Должны быть составлены следующие рабочие карты.

1. Карта гидрографической сети района исследований (реки, озера, водохранилища, ирригационные или транспортные каналы и др.). Важное значение для моделирования имеют условия взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Поэтому необходимо на карте отразить условия дренированности подземных вод речной сетью, участки их поглощения, области естественной разгрузки подземных вод, а также режим поверхностного стока (постоянные и временно действующие водотоки, в том числе сток по ирригационным каналам). Эту карту необходимо иллюстрировать сводным табличным материалом, характеризующим годовой и многолетний гидрологический режим поверхностного стока.

2. Карта фактического материала по району исследований (буровые скважины различного назначения и их размещение по площади, родники, шахтные колодцы, действующие водозаборные сооружения и осушительные устройства, горные выработки). Гидрогеологические данные фактического материала используются в дальнейшем не только для построения модели, но и для контроля исследований при непосредственном моделировании.

3. Геолого-структурная карта объекта исследований и геологические разрезы к ней. На карте необходимо охарактеризовать элементы залегания и условия распространения горных пород различного литологического состава, литолого-фациальную изменчивость пород в плане, тектонические нарушения (региональные и локальные) и их роль в гидрогеологических условиях и т. д. Очень важно при этом выделить литологические комплексы горных пород по условиям их водопроницаемости. Следует подробно охарактеризовать структурные условия тектонических нарушений: простираание, мощность и условия водоносности. В таком виде геологическая карта объекта исследований может быть в дальнейшем использована для оценки граничных условий фильтрационного потока и построения расчетной схемы.

4. Гидрогеологические карты района исследований являются одним из основных документов, необходимых для построения физической модели объекта, электрической модели, а также контроля за процессом моделирования. Целесообразно составить следующие гидрогеологические карты: а) карту, отражающую основные гидрогеологические условия объекта исследований (площадь распространения основных водоносных горизонтов); б) карту гидроизогипс (гидроизопьез) в естественных и для стадии эксплуатации рудных месторождений в нарушенных условиях (на различные условия и время отработки объекта); в) карту гидрогеологических параметров

водовмещающих пород (проводимости пласта, пьезопроводности); г) гидрогеологическую карту, отражающую условия питания подземных вод.

Все гидрогеологические карты должны быть выполнены в одном масштабе с геологическими и гидрогеологическими разрезами. В гидрогеологической части очень важными являются материалы по режиму подземных вод. Информацией, позволяющей контролировать истинность принимаемых расчетных схем, является характеристика режима подземных вод, а при решении фильтрационных задач — данные по напорам, уровням подземных вод, мощности грунтовых потоков, расходы, меняющие свое значение в пространстве и времени. Чем больше информации о режиме подземных вод, тем надежней могут быть решены фильтрационные задачи. Для рудных объектов, находящихся в эксплуатации, важно иметь данные по режиму общих и отдельных (по горизонтам) водопритоков в горные выработки, уровней подземных вод и изменения этих параметров во времени и пространстве в форме комплексных графиков (см. рис. 46).

Чрезвычайно важно при этом отметить исследовательскую особенность применения метода математического моделирования в гидрогеологии. Рассматривая модель как триаду «среда—граничные условия—реакция системы», появляется возможность осуществлять постановку задачи отыскания недостающей информации по любому элементу расчетной схемы, если известны два других. Например, зная достаточно параметры среды и граничные условия на модели, можно получить реакцию системы в виде изолиний напоров или уровней, а через них и другие гидродинамические характеристики — скорость, градиенты потока, расходы потока. Имея надежные данные о граничных условиях и распределении уровней подземных вод во времени и пространстве, можно ставить задачу отыскания неизвестных параметров среды.

Рассмотрим содержание гидрогеологических карт.

На карте общих гидрогеологических условий района необходимо выделить: границы распространения на объекте всех водоносных горизонтов, в том числе границы подземных вод, имеющей различную степень минерализации; участки естественной разгрузки подземных вод и область их питания; очаги загрязнения подземных вод; родники, буровые скважины и т. д. При многослойном строении района исследований целесообразно построить гидрогеологические карты отдельно для всех основных водоносных горизонтов.

Очень важной информацией для моделирования являются карты гидроизогипс (гидроизопьез). Анализ таких карт, составленных для естественных и нарушенных условий, позволяет оценить гидродинамические условия района, структуру фильтрационного потока, связь подземных и поверхностных вод, оценить факторы, влияющие на распределение напоров подземных вод в водоносных горизонтах, формирование режима подземных вод, а также условия их питания и разгрузки. Непосредственно

в процессе моделирования, как отмечалось выше, карты гидроизогипс позволяют контролировать ход решения обратных задач на электрической модели. При многослойном строении гидрогеологического разреза для наиболее качественного моделирования необходимо построить карты гидроизогипс для каждого основного водоносного горизонта.

Таким образом, информация по режиму подземных вод имеет исключительно большое значение для решения прогнозных задач. Принимая во внимание важность гидрогеологической информации, содержащейся на картах гидроизогипс, в процессе разведки рудных месторождений, и тем более в процессе эксплуатации объекта, очень важно своевременно организовать изучение режима подземных вод, а при строительстве режимной сети строго учитывать наиболее рациональное размещение по площади изучаемого объекта наблюдательных и картировочных скважин применительно к составлению карт гидроизогипс (гидроизопьез), как это было отмечено в гл. 7, 8 и 9.

Не менее важное значение для моделирования имеет карта гидрогеологических параметров водоносных горизонтов, характеризующая фильтрационные свойства водовмещающих пород. В этом отношении целесообразно составить для каждого водоносного горизонта карты микрорайонирования изучаемой территории по значениям коэффициента проводимости или коэффициента фильтрации пород, а также коэффициента уводнепроводности (пьезопроводности) пласта. При составлении карт гидрогеологических параметров пласта, очевидно, нецелесообразно регламентировать пределы градации значений отдельных расчетных параметров. Важно в этом отношении на картах микрорайонирования отразить степень фильтрационной неоднородности или степень неоднородности пласта и границы выделенных контуров в плане.

Наконец, для моделирования гидрогеологического процесса важно составить гидрогеологическую карту, отражающую условия питания подземных вод. На такой карте необходимо выделить отдельные участки: а) с различными значениями инфильтрационного питания подземных вод за счет атмосферных осадков; б) с различными условиями гидравлической связи подземных и поверхностных вод; в) с различными условиями взаимодействия между водоносными горизонтами (участки перетекания подземных вод или поглощения).

Нередко в процессе моделирования требуется гидрогеологическая информация, характеризующая структуру кровли водоносного горизонта и подошвы разделяющего слоя. Такие карты можно составлять в изолиниях. Масштабы всех перечисленных выше карт лимитировать очень трудно. Выбор масштаба во многом зависит от площади изучаемого объекта и степени его сложности.

Для моделирования большое значение имеет также систематизация исходной гидрогеологической информации в форме различных обобщающих графиков и сводных таблиц. В этой

части наиболее существенными являются графики, характеризующие режим подземных вод в естественных и нарушенных условиях, графики дебитов скважин, а также графики, отражающие режим водопритоков. При определенных гидрогеологических условиях могут быть использованы графики температурного режима подземных вод.

Известно, что режим уровня достаточно четко характеризует условия питания и сток подземных вод, условия взаимодействия между водоносными горизонтами и связь их с поверхностными водами. Использование этой информации позволяет в процессе моделирования определить ряд важных гидрогеологических параметров. Так, например, данные режима, характеризующие соотношение уровней подземных вод различных напорных горизонтов в разрезе изучаемого объекта, могут позволить определить на модели фильтрационные свойства разделяющих слабопроницаемых пород. Этот параметр, характеризующий водопроницаемость разделяющих пород, является важным для определения взаимодействия водных горизонтов и количественной оценки процессов перетекания.

Следует при этом отметить, что породы разделяющих слоев, как правило, обладают весьма слабыми фильтрационными свойствами. Определить указанные выше параметры опытными откачками в процессе разведки рудных месторождений практически очень сложно. Поэтому данные стационарных наблюдений за режимом уровня подземных вод в различных напорных горизонтах позволяют определить водопроницаемость пород разделяющих слоев. Это же положение относится и к изучению режима уровня подземных вод и уровня поверхностных вод в речных долинах, результаты которых позволяют на модели определить фильтрационное сопротивление пород, слагающих современное русло реки. Параметр, характеризующий фильтрационное сопротивление ложа реки, входит как один из основных расчетных показателей при оценке суммарных водопритоков в горные выработки, расположенные вблизи речной долины, а также оценки эксплуатационных запасов подземных вод инфильтрационных водозаборов.

Для общего анализа данных по режиму подземных вод целесообразно составлять так называемые современные или комплексные графики, характеризующие изменения во времени всех основных режимобразующих факторов (режим уровня, атмосферных осадков, поверхностного стока и др.).

В заключение отметим следующее. Приведенный выше перечень основной гидрогеологической информации, необходимой для решения сложных задач методом математического моделирования, и описанная технология исследований по существу определяют особенности и содержание гидрогеологических работ, которые необходимо выполнить камеральным путем, а также способом проведения специальных полевых исследований. Эти обратные связи необходимо учитывать при подготовке материа-

лов. В последнее время во всех отраслях народного хозяйства нашей страны используют ЭВМ для решения многих прикладных задач. Это потребовало обучения широкого круга специалистов и руководителей самых различных областей. Организация и внедрение в практику гидрогеологической службы горнорудных предприятий математических методов и обучение специалистов в этом направлении позволяет успешно решать большой круг задач в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза.

Важнейшим направлением является применение в гидрогеологии вычислительной техники. Это потребовало обучения широкого круга специалистов и руководителей самых различных областей. Организация и внедрение в практику гидрогеологической службы горнорудных предприятий математических методов и обучение специалистов в этом направлении позволяет успешно решать большой круг задач в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза.

Краткая характеристика гидрогеологических исследований в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза. В последние годы в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза наблюдается значительный рост интереса к этим вопросам. Это связано с тем, что в настоящее время в промышленности и сельском хозяйстве наблюдается острый недостаток в воде. Поэтому необходимо разработать эффективные методы осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза. В настоящее время в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза наблюдается значительный рост интереса к этим вопросам. Это связано с тем, что в настоящее время в промышленности и сельском хозяйстве наблюдается острый недостаток в воде. Поэтому необходимо разработать эффективные методы осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза.

В настоящее время в области осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза наблюдается значительный рост интереса к этим вопросам. Это связано с тем, что в настоящее время в промышленности и сельском хозяйстве наблюдается острый недостаток в воде. Поэтому необходимо разработать эффективные методы осушения, водоснабжения и прогнозной оценки техногенеза.

№ п/п	Наименование объекта	Вид работ	Сроки выполнения	Исполнитель
1	Объект 1	Работы по осушению	с 1.10.80 по 31.12.80	И.И. Иванов
2	Объект 2	Работы по водоснабжению	с 1.10.80 по 31.12.80	С.С. Сидоров
3	Объект 3	Работы по прогнозной оценке техногенеза	с 1.10.80 по 31.12.80	А.А. Александров

Часть III

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Глава 13

РУДНЫЙ ОБЪЕКТ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ

Рассмотрим в качестве примера влияние промышленной отработки рудного месторождения, отнесенного по степени сложности к третьей группе (см. табл. 5), на изменение геологической среды. Это месторождение имеет очень высокую степень обводнения, и опыт его эксплуатации в гидрогеологическом и горно-техническом отношении, а также влияние отработки на окружающую среду представляет большой интерес.

Краткая характеристика природных факторов

Месторождение расположено в пределах юго-западного склона хребта Каратау, максимальные абсолютные отметки которого достигают 1500—2176,9 м над уровнем моря. Юго-западный склон хребта в районе месторождения интенсивно расчленен долинами мелких рек — Западной, Центральной, Восточной, Дальневосточной и др. (рис. 66). В равнинно-степной части района, южнее месторождения они сливаются и образуют единый поверхностный поток.

Распределение годового поверхностного стока в реках приведено в табл. 9. Сток этот формируется за счет дождей и снеготаяния. Непосредственно по западному и восточному флангам рудного месторождения протекают реки Западная и Восточная.

ТАБЛИЦА 9

Местные и сезонные распределения поверхностного стока местной речной сети района рудного месторождения (м³/с)

Река	Водосборная площадь, км ²	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дальневосточная	342	0,0	0,6	38,2	39,9	20,9	0,4	0	0	0	0	0	0
Восточная	178	0,0	4,9	74,5	14,3	6,3	0	0	0	0	0	0	0
Западная	230	0,0	1,8	26,1	48,5	22,4	1,2	0	0	0	0	0	0

Примечание. Приведены средние расходы за четырехлетний период наблюдений.

Как видно из этих данных, поверхностный сток за год в речной сети распределяется весьма неравномерно. С февраля по июнь сток отмечается по всем рекам, причем паводковые расходы наблюдаются в марте, апреле и мае. Почти семь месяцев в году стока в реках по существу нет. Круглогодичный сток наблюдается только в верховьях р. Западной, где в долине наблюдается естественная разгрузка трещинно-карстовых вод в виде родников. В многоводные годы иногда прослеживается зимний паводок почти во всех реках. Такой режим поверхностного стока оказывает свое существенное влияние на режим водопритоков в систему подземных выработок рудника. На рис. 56 представлен совмещенный график режима поверхностного стока рек и водопритоков в систему горных выработок. Наибольшие инфильтрационные потери из рек наблюдаются в весенний паводок (март—май); в этот период в горных выработках формируются максимальные водопритоки.

В естественных условиях для всех типов подземных вод реки, распространенные на рудном месторождении, играют дренирующую роль. Основным источником питания поверхностных и подземных вод являются атмосферные осадки. Гипсометрические отметки хребта оказывают существенное влияние на режим выпадающих атмосферных осадков района в целом. Наблюдениями было установлено, что для района месторождения в пределах абсолютных отметок от 300 (площадь горных разработок) и до 1000 м (верховья рек) годовые суммы выпадающих атмосферных осадков изменяются от 340 до 660 мм. В среднем на каждые 100 м повышения абсолютных отметок поверхности наблюдается увеличение выпадающих атмосферных осадков на 50—60 мм в год.

Распределение выпадающих атмосферных осадков внутри года характеризуется следующими данными (табл. 10).

Температура воздуха характеризуется большими колебаниями в году. Среднегодовая температура воздуха в районе месторождения составляет 10—12 °С. В зимнее время средняя температура

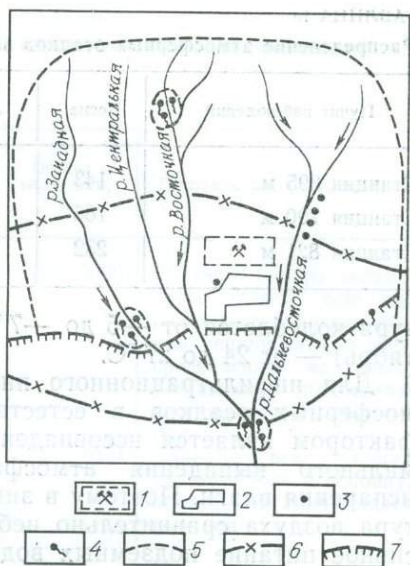


Рис. 66. План-схема рудного объекта третьей группы:

1 — горные выработки; 2 — территория города; 3 — водозаборная скважина; 4 — крупные родники. Границы: 5 — области питания, 6 — области развития депрессионной воронки, 7 — распространения мезокайнозойских отложений

ТАБЛИЦА 10

Распределение атмосферных осадков внутри года (среднегодовое), мм

Пункт наблюдений	Весна	Лето	Осень	Зима	Всего за год
Станция 395 м	143	33	60	147	383
Станция 700 м	166	29	68	207	470
Станция 821 м	232	39	91	259	621

тура колеблется от -5 до -7°C , а в летний период (май — сентябрь) — от 24 до 27°C .

Для инфильтрационного питания подземных вод за счет атмосферных осадков в естественных условиях весьма важным фактором является несовпадение во времени периодов максимального выпадения атмосферных осадков и максимального испарения влаги. Поэтому в зимне-весеннее время, когда температура воздуха сравнительно небольшая, происходит весьма интенсивное питание подземных вод месторождения за счет инфильтрации выпадающих атмосферных осадков.

Однако в зоне дренирующего влияния горных разработок на месторождении коренным образом изменился режим взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Условия эти будут описаны несколько ниже.

Геологическое строение

В геологическом строении района расположения рудного месторождения принимает участие весьма разнообразный комплекс горных пород как по их литологическому составу, так и по возрасту.

Горная часть района сложена породами палеозойского возраста, погружающимися в равнинной части (к югу от месторождения) под толщу пород мезозойского и третичного возраста. Образования четвертичного возраста — аллювиальные отложения речных долин и делювиальные отложения горных склонов — распространены в горной и долинной частях района.

С точки зрения оценки общих гидрогеологических условий района всю толщу слагающих горных пород целесообразно подразделить на четыре комплекса по литологическому их составу, возрасту и условиям формирования среды накопления подземных вод (табл. 11).

Основной складчатой структурой района является антиклинальная зона, переходящая к северу в синклираль. К югу от этой зоны карбонатные породы постепенно погружаются под толщу пород мелового и третичного возраста. Складчатые структуры района осложнены тектоническими нарушениями типа надвигов и сбросов. Наиболее крупными и сложными по своему строению

ТАБЛИЦА 11

Характеристика комплексов горных пород, слагающих юго-западный склон

хребта (разрез снизу)

Комплекс горных пород	Литологический состав и возраст пород	Общая мощность, м	Площадь распространения
Первый — наиболее древний	Эффузивы, песчаники, конгломераты, туфы, аргиллиты, алевролиты с прослоями известняков нижнего и среднего палеозоя, сложно дислоцированные в складки второго и третьего порядков	3000—5000	Слагают водораздельную часть хребта, всю площадь в верховьях местной речной сети, а непосредственно на месторождении подстилают карбонатную толщу пород
Второй	Карбонатные сложнослоистые рудовещающие породы — известняки, доломиты, мраморы среднего и верхнего палеозоя, пораженные крупными тектоническими нарушениями; карбонатные породы залегают несогласно на эродированной поверхности аргиллитовой толщи пластичных пород	1500—3000	Слагают всю площадь рудного поля и основную область питания подземных вод
Третий	Песчано-глинистые, мергелистые породы мезозойского и третичного возраста	20—250	Слагают всю южную равнинную часть района, трансгрессивно налегая на карбонатные породы палеозоя вблизи рудного месторождения
Четвертый	Песчано-галечниковые аллювиальные отложения и суглинисто-валунные делювиальные образования четвертичного возраста	1—12	Слагают террасовые поверхности и современное русло речных долин и склоны горного хребта

являются Главный, Южный и Анасайский надвиги (с амплитудой смещения пород от 300 до 1000 м) северо-западного и меридионального простиранья, как бы ограничивающие антиклинальную зону.

Наибольшую протяженность имеет Южный надвиг, представляющий собой сложную по своему строению тектоническую структуру северо-западного простиранья. Структура эта сопровождается зоной интенсивной трещиноватости и закарстованности и дроблением карбонатных пород мощностью до 200—300 м. Южный надвиг прослеживается на западе, а затем и через долину р. Западной, далее он прослеживается на площади рудного поля, захватывая долину р. Восточной.

Непосредственно на площади месторождения этот надвиг сопрягается со сложной сетью других тектонических нарушений — Главными надвигом и сбросами меридионального простираия, формируя сложносопряженное геолого-структурное поле, играющее существенную роль в гидрогеологии района.

Большое значение для оценки гидрогеологических условий месторождения имеют также структурные элементы собственно карбонатных пород — трещиноватость и закарстованность. Исследованиями было выявлено, что в толще карбонатных пород четко выделяются две группы трещиноватости и закарстованности: 1) локальная, 2) региональная. Первая группа объединяет различной формы крупные открытые трещины и карстовые полости, приуроченные обычно к зонам сложных по строению тектонических нарушений, межслоевым подвижкам или к контакту с подстилающими аргиллитами. Чаще всего открытые карстовые полости — пещеры, колодцы и другие формы — формируются в карбонатных породах в местах пересечения трещин двух или трех направлений: северо-западного и меридионального простираия с трещинами по напластованию. Локальная трещиноватость и закарстованность наиболее интенсивно распространены в разрезе карбонатных пород каменноугольного возраста. Известняки карбона, как показало изучение их вещественного состава, являются наиболее химически активными. Реже структурные элементы локального типа распространены в известняках девонского возраста.

Вторая группа структурных элементов — региональная трещиноватость и микрозакарстованность — распространена почти по всему разрезу карбонатных пород. Группа эта объединяет очень мелкие, часто притертые или залеченные кальцитом трещины и микрокарстовые полости. В условиях их распространения отмечается неравномерность в плане и разрезе.

На формирование структурных элементов карбонатных пород оказывает свое влияние характер их слоистости. В тонкослоистых разностях известняков распространена густая сеть региональной трещиноватости, в грубослоистых известняках формируются преимущественно крупные секущие трещины, в меньшей степени породы поражаются трещинами напластования.

Комплекс горных пород, представленный эффузивами, песчаниками, аргиллитами и т. д., характеризуется иными закономерностями формирования структурных элементов — среды для накопления и нифильтрации подземных вод. В них распространена только мелкая трещиноватость регионального характера, главным образом по слоистости осадочно-метаморфических пород. Причем мелкие трещины приоткрыты по существу только в самой верхней части разреза — в зоне интенсивного современного выветривания на глубину примерно 30—50 м, реже более 50 м. Ниже этой зоны выветривания открытая трещиноватость очень быстро затухает и породы становятся практически водонепроницаемыми. При некоторых геологических условиях в породах

встречается локального типа трещиноватость в зонах тектонических нарушений в форме брекчирования.

Третий и четвертый выделенные комплексы горных пород (см. табл. 11) характеризуются пористой средой, благоприятной для инфильтрации и накопления в ней пластовых и грунтовых подземных вод.

Гидрогеологические условия месторождения

По условиям формирования и приуроченности в районе месторождения можно выделить четыре типа подземных вод: а) трещинно-грунтовые воды коры выветривания коренных пород различного литологического состава нижнепалеозойского (первого) комплекса; б) трещинно-карстовые воды рудовмещающих карбонатных пород девонского и каменноугольного возраста (второй комплекс пород); в) напорные межпластовые воды песчано-глинистых отложений мелового возраста; г) грунтовые воды рыхлых аллювиальных песчано-галечниковых отложений современных речных долин.

Первый тип подземных вод распространен главным образом в верхних частях бассейнов местной речной сети, непосредственно на поверхности наиболее древнего первого комплекса пород (нижнего палеозоя), литологический состав которого приведен в табл. 11. Условия водоносности пород, входящих в состав древнего комплекса, характеризуются общими чертами.

Региональное проявление водоносности в породах отмечается только в верхней части разреза — в зоне выветривания, где мелкая прототектоническая трещиноватость несколько приоткрыта под воздействием современных процессов выветривания, проникающих примерно на глубины 30—50 м. Трещинно-грунтовые воды, распространенные в этой зоне, имеют ограниченные естественные ресурсы, интенсивно дренируются местной гидрографической сетью; родники имеют небольшие дебиты (от 0,1 до 0,05 л/с), и большинство из них к осени полностью истощается. Во второй зоне открытая мелкая трещиноватость, как отмечалось, очень быстро затухает, поэтому горные породы являются практически водонепроницаемыми. В этой зоне можно наблюдать водопроявления только по тектоническим нарушениям. В общем водном балансе района трещинно-грунтовые воды играют роль регулятора стока атмосферных осадков в верхней части бассейна местной речной сети.

Иные условия обводненности отмечаются в мощной толще карбонатных пород. Особенности структурных элементов карбонатных пород (трещиноватость и закарстованность) определяют условия формирования и накопления в них значительных естественных ресурсов и запасов трещинно-карстовых вод. Как показывает опыт осушения горных разработок, отмечаются следующие особенности в условиях водопоявления карбонатных пород.

1. На площади развития карбонатных пород формируется единый бассейн трещинно-карстовых вод, область питания которых совпадает с границами распространения известняков, а область накопления приурочена главным образом к синклинальной структуре, а также погруженной части структуры в югу от месторождения. Гидравлическая связь между потоками трещинно-карстовых вод четко отражается структурой районной депрессионной воронки, образовавшейся под влиянием осушения горных разработок на месторождении. Общий подземный сток со стороны бассейна четко формируется под влиянием шахтного водоотлива.

2. В вертикальном разрезе в бассейне трещинно-карстовых вод формируются три гидродинамические зоны, как это показано на принципиальной схеме (см. рис. 2).

В верхней части разреза (выше местного базиса эрозии), непосредственно соприкасающейся с атмосферой, распространена зона инфлюации, где подземные воды имеют преимущественно вертикальное движение. В этой зоне (мощностью от 80—100 до 150 м) накопление трещинно-карстовых вод происходит только в пределах годовой амплитуды колебания уровня. Вторая зона, расположенная в вертикальном разрезе между местным и региональным базисами эрозии (в интервале глубин от 80—120 до 500—800 м), характеризуется интенсивным накоплением трещинно-карстовых вод и интенсивным подземным стоком. Основные естественные ресурсы и естественные запасы трещинно-карстовых вод формируются именно во второй гидродинамической зоне.

Разгрузка трещинно-карстовых вод второй зоны в естественных условиях проявлялась в виде большой группы довольно мощных родников, действие которых четко фиксировалось до начала осушения горных разработок. Родники в верховьях р. Восточной с расходом 650 л/с, в долине р. Западной и др.

Разгрузка трещинно-карстовых вод наблюдалась по крупным тектоническим нарушениям преимущественно в зоне контакта карбонатных пород с трансгрессивно перекатывающими их песчано-глинистыми породами мелового и третичного возраста. Ниже глубин 500—800 м в бассейне трещинно-карстовых вод располагается третья гидродинамическая зона — замедленного подземного стока, направленного по глубоким горизонтам в южном направлении от рудного месторождения в сторону погружения общей структуры карбонатных пород, где палеозойские отложения, как отмечалось, трансгрессивно перекрываются песчано-глинистыми образованиями мезозойского и третичного возраста. В этой геологической части района в глубоких горизонтах карбонатных пород и песчаных разностях пород мелового возраста подземные воды приобретают напорный режим, формируя довольно крупный артезианский бассейн.

3. В разрезе всей обводненной толщи карбонатных пород отмечается высокая степень гидрогеологической неоднородности, которая весьма отчетливо прослеживается, например, при про-

ходке подземных горных выработок на рудном месторождении. Обводненность подземных горных выработок, как правило, наблюдается главным образом в зонах развития локальной трещиноватости и закарстованности, с которыми связаны основные сосредоточенные потоки трещинно-карстовых вод. Между этими зонами известняки очень часто обводнены весьма слабо и горные выработки являются практически сухими.

В южной части района месторождения, как отмечалось, располагается бассейн напорных вод. Глубокие горизонты этого бассейна сложены карбонатными породами палеозоя, а верхние — песчано-глинистыми породами мелового возраста. В соответствии с этим в разрезе бассейна напорных вод можно выделить два водоносных горизонта: первый — в известняках палеозоя, а второй — в песках мела. Как показали результаты буровой разведки, водоносные горизонты между собой гидравлически связаны.

Грунтовые воды, распространенные в районе, приурочены к песчано-галечниковым аллювиальным образованиям речных долин и по условиям распространения имеют азональный характер, пересекая площади всех выделенных выше гидрогеологических районов. Грунтовые воды имеют очень активную гидравлическую связь с поверхностными водами. Местная гидрографическая сеть района вместе с толщей песчано-галечниковых аллювиальных образований до начала осушения горных разработок играла роль естественных дрен для всех типов подземных вод. На участке выше естественной зоны разгрузки наблюдались потери поверхностных вод карбонатных пород.

Как показали исследования, все типы подземных вод, рас-

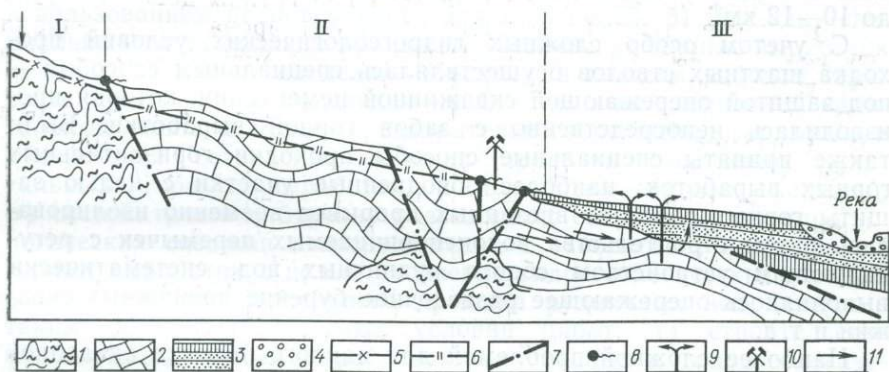


Рис. 67. Геолого-гидрогеологический профиль:

1 — эффузивно-метаморфические сложноподстигнутые породы палеозойского возраста; 2 — карбонатные водоносные породы палеозойского возраста; 3 — песчано-глинистые породы мезозойского возраста; 4 — аллювиальные отложения реки; 5 — уровень трещинно-грунтовых вод метаморфических пород; 6 — уровень трещинно-карстовых вод; 7 — тектонические нарушения; 8 — родник; 9 — самонизливающаяся скважина; 10 — горная выработка; 11 — направление подземного стока.

I—III — бассейны: I — трещинно-грунтовых вод, II — трещинно-карстовых вод, III — артезианский

пространенные в районе рудного месторождения, являются пресными, гидрокарбонатно-кальциевого химического состава.

Если рассмотреть гидрогеологические условия месторождения в региональном плане в целом по юго-западному склону хребта, то можно выделить несколько тесно связанных между собой гидрогеологических районов (рис. 67). В верховьях речной сети распространен бассейн трещинно-грунтовых вод, приуроченный к комплексу эффузивно-метаморфических пород. Южнее располагается на большой площади бассейн трещинно-карстовых вод карбонатных пород палеозойского возраста. Далее к югу распространен бассейн напорных вод, где выделяются два водоносных горизонта — в известняках палеозоя и песках мелового возраста.

Как видно из приведенного разреза (см. рис. 67), собственно горные выработки на рудном месторождении расположены в южной краевой части бассейна трещинно-карстовых вод на стыке с артезианским бассейном напорных вод. Все это вместе взятое и определило особо сложные гидрогеологические условия промышленной отработки месторождения.

Горнотехнические условия промышленной отработки и схема осушения месторождения

Рудная минерализация на месторождении залегает на больших глубинах, поэтому было принято решение производить промышленную отработку объекта шахтным способом. Общая глубина отработки составляла примерно 600—850 м, в проекте до 1000—1100 м общая площадь горных разработок на объекте достигает до 10—12 км².

С учетом особо сложных гидрогеологических условий проходка шахтных стволов осуществлялась специальным способом — под защитой опережающей скважинной цементации, которая производилась непосредственно с забоя горной выработки. Были также приняты специальные способы проходки горизонтальных горных выработок: наиболее обводненные участки с целью защиты горных работ от внезапных прорывов временно изолировались путем строительства водонепроницаемых перемычек с регулирующим устройством сброса рудничных вод, систематически выполнялось опережающее разведочное бурение дренажных скважин и т. д.

Наиболее сложной проблемой для данного объекта оказались выбор и обоснование наиболее рациональной схемы осушения. Для аридной зоны, в которой находится месторождение, нецелесообразно применять предварительное опережающее осушение горных разработок, потому что в этом случае значительно усложнилась бы проблема водоснабжения горнорудного предприятия. В данном случае необходимо было максимальное использование всех местных ресурсов подземных вод для различных нужд будущего горнорудного предприятия и городского хозяйства. Кроме

того, при выборе схемы осушения объекта необходимо учитывать требования по охране и защите окружающей среды. Глубокая отработка месторождения неизбежно приводит к коренному изменению гидрогеологических условий района. Крупные родники, расположенные в сфере влияния горных разработок, будут в дальнейшем полностью сдrenированы, изменят свой режим и сток поверхностные воды местной речной сети. Все эти потери необходимо компенсировать.

Таким образом, возникает необходимость разработать такую схему осушения и дренажа месторождения, которая могла бы решить все основные проблемы, а именно: а) обеспечить безопасную промышленную отработку месторождения, находящегося в весьма сложных гидрогеологических условиях; б) разрешить все виды водоснабжения будущего горнорудного предприятия за счет местных источников — обогатительной фабрики, тепловой электростанции, а также хозяйственно-питьевое водоснабжение проектируемого города; в) улучшить экологическое качество окружающей среды, и прежде всего создать благоприятные условия жизни и производственной деятельности трудящихся, занятых на предприятии, путем широкого использования рудничных вод для орошения и озеленения; г) частично обеспечить защиту окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов.

В связи с этим была разработана и внедрена на объекте оригинальная схема осушения горных разработок, предусматривающая: а) строительство непосредственно в подземных горных выработках мощного внутришахтного водоотлива с целью перехвата всех общих водопритоков рудничных вод с последующим их использованием на поверхности для всех целей; б) проходку специальных опережающих дренажных подземных горных выработок непосредственно в пределах объекта на каждом рабочем горизонте шахт, располагающихся на 3—5 м ниже горизонта капитальных работ, с целью предварительного осушения горизонта и обеспечения безопасных условий проходки собственно капитальных горных выработок и отработки рудных залежей; в) систематическое бурение разведочных опережающих гидрогеологических скважин непосредственно с забоев всех капитальных горных выработок с целью уточнения гидрогеологических условий, обеспечения дополнительного дренажа рудничных вод, создания таким образом безопасных условий работ; г) строительство в подземных горных выработках, на опасных в гидрогеологическом отношении участках, водонепроницаемых перемычек с целью временной изоляции очагов интенсивного обводнения (в том числе внезапных прорывов) и последующего регулирования сброса рудничных вод; д) строительство на нижних наиболее обводненных горизонтах в подземных горных выработках автономного (в санитарном отношении) каптажа незагрязненных рудничных вод с целью их прямого использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения города по специальному водоводу; е) максимальное использование рудничных вод для различных нужд горноруд-

ного предприятия и сельского хозяйства, в том числе организацию на территории будущего города городского орошения земельных участков с целью создания для трудящихся благоприятных санитарно-технических и бытовых условий, а также улучшения экологического качества окружающей среды.

Как показал опыт эксплуатации объекта, разработанная схема осушения полностью себя оправдала и позволила успешно решить все перечисленные выше проблемы. В соответствии с утвержденным проектом шахтное поле на рудном месторождении размещено на площади между долинами рек Западной и Восточной на участках, где они выходят из горных условий на равнинную часть района. Город горняков размещен на плоской равнине к югу от шахтного поля.

За более чем сорокалетний период промышленной отработки рудного месторождения и систематического проведения исследований на предприятии накоплен большой опыт производства горных работ в чрезвычайно сложных гидрогеологических условиях. Исследованиями была установлена следующая балансовая структура источников обводнения горных работ, за счет которых формируются общие водопритоки:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{е.р}} + Q_{\text{е.з}}/T + \Delta Q_{\text{пр}},$$

где $Q_{\text{е.р}}$ — естественные ресурсы трещинно-карстовых вод рудовмещающих карбонатных пород; $Q_{\text{е.з}}$ — естественные запасы трещинно-карстовых вод; $\Delta Q_{\text{пр}}$ — привлекаемые ресурсы в процессе осушения горных разработок, главным образом за счет инфильтрации поверхностных вод местной гидрографической сети; T — время.

Предполагается, что в последний период промышленной отработки рудного объекта привлекаемые ресурсы частично формируются за счет перетекания напорных вод из водоносных горизонтов меловых песчаников. Наиболее существенными в обводнении горных работ являются естественные ресурсы трещинно-карстовых вод и привлекаемые ресурсы, на долю которых приходится до 70—80 % всех водопритоков в систему горных выработок.

По результатам режимных стационарных наблюдений гидрогеологической службой предприятия были построены комплексные графики, на которых отражены суммарные среднегодовые и максимальные суточные притоки подземных вод в систему горных выработок, средние годовые атмосферные осадки, площадь развития депрессионной воронки, а также режим уровней подземных вод в наблюдательных скважинах (рис. 68). Эти графики позволяют в многолетнем разрезе четко проследить общие закономерности формирования водопритоков в горные выработки, а также режим уровней подземных вод в непосредственной близости от горных выработок и в удалении от них. В формировании водопритоков можно выделить несколько характерных этапов. На первом этапе (период 1942—1948 гг.) средние годовые водопритоки постепенно возрастали до 190 м³/ч. На втором этапе (1949—

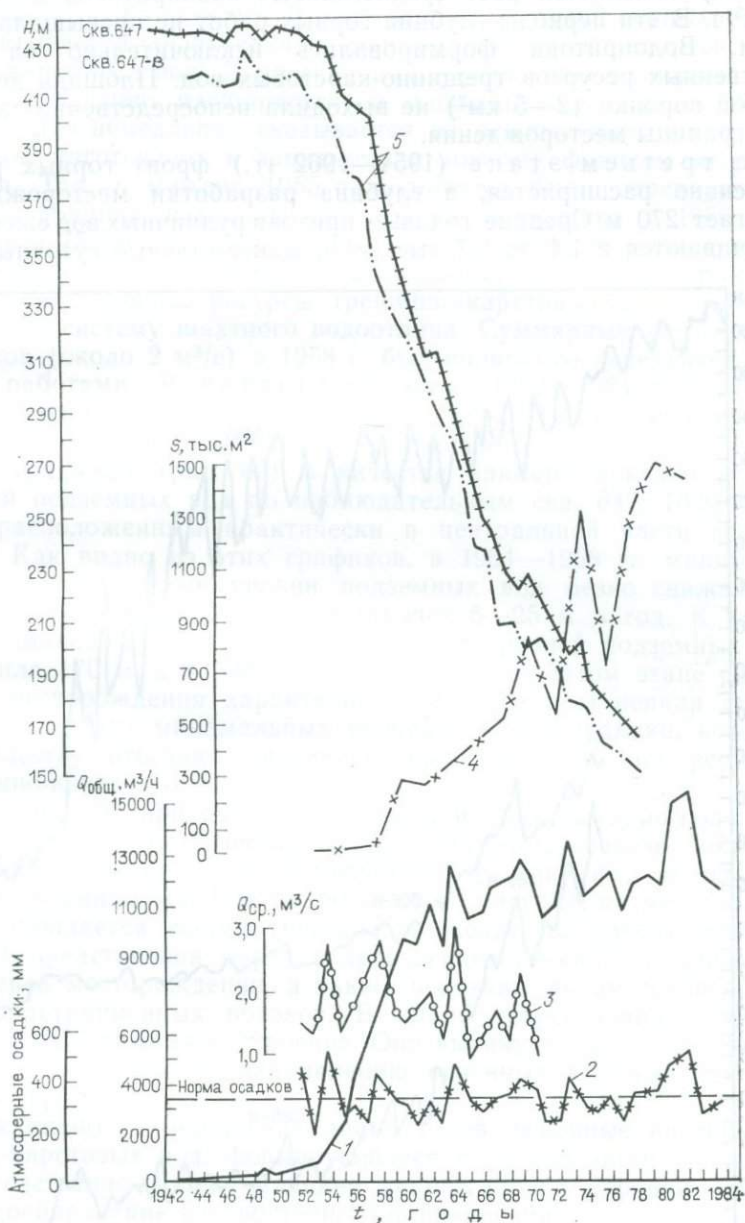


Рис. 68. Комплексный график:

1 — режим общих водопритоков ($Q_{общ}$); 2 — атмосферные осадки; 3 — средний расход р. Центральной ($Q_{ср}$); 4 — площадь (s) депрессионной воронки; 5 — изменение уровня (H) подземных вод

1953 гг.) отмечается рост среднегодовых водопритоков до 560—800 м³/ч. В эти периоды глубина горных работ не превышала 40—50 м. Водопритоки формировались исключительно за счет естественных ресурсов трещинно-карстовых вод. Площадь депрессионной воронки (2—5 км²) не выходила непосредственно за пределы границы месторождения.

На третьем этапе (1954—1962 гг.) фронт горных работ интенсивно расширяется, а глубина разработки месторождения достигает 270 м. Средние годовые притоки рудничных вод ежегодно увеличиваются с 1,4 до 9,7 тыс. м³/ч, максимальные суточные во-

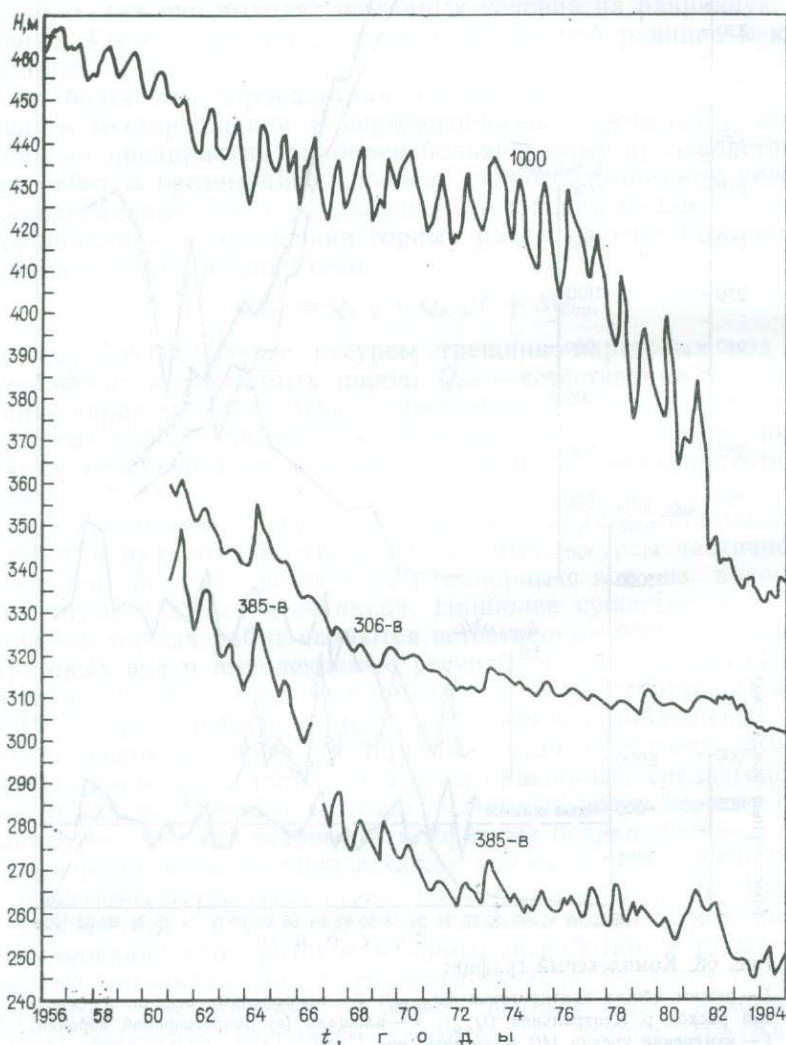


Рис. 69. Графики режима уровня подземных вод по скважинам

допритоки достигают 6—13 тыс. м³/ч, а годовой объем откачки составляет 75—85 млн. м³. В этот период системой горных работ перехватывается значительная доля естественных ресурсов трещинно-карстовых вод. Депрессионная воронка под влиянием осушения постепенно расширяется, и площадь ее достигает 250—280 км², что немедленно сказывается на режиме многочисленных родников, тяготеющих к западному и южному флангам месторождения. Так, в межень 1955 г. полностью были сдrenированы крупные родники, находящиеся в 1,5 км от рудника, в 1956 г. — родники в 15 км от рудника. Произошло, таким образом, существенное изменение структуры подземного стока, при котором основные естественные ресурсы трещинно-карстовых вод были вовлечены в систему шахтного водоотлива. Суммарный расход всех родников (около 2 м³/с) в 1958 г. был полностью перехвачен горными работами. В четвертый этап (1962—1984 гг.) общие средние годовые водопритоки возросли до 12—15 тыс. м³/ч, а максимальные средние суточные — до 24 тыс. м³/ч.

На графиках (рис. 69) в качестве примера показан режим уровней подземных вод по наблюдательным скв. 647, 1000, 306^в, 385^в, расположенным практически в центральной части горных работ. Как видно из этих графиков, в 1954—1968 гг. минимальные и максимальные уровни подземных вод резко снижаются. Скорость снижения уровней составляет 5—25 м в год. К концу 1962 г. максимальная глубина снижения уровней подземных вод составила 170 м, а в 1984 г. — 390 м. На четвертом этапе разработки месторождения характерным является постепенная стабилизация средних минимальных водопритоков в рудники, которые по существу отвечают значению общих естественных ресурсов трещинно-карстовых вод.

На рис. 70 приведен схематический геолого-гидрогеологический разрез рудного месторождения. На этом разрезе показана динамика снижения уровней трещинно-карстовых вод по годам на период их минимума. Как видно из этого рисунка, на месторождении наблюдается систематическое снижение подземных вод. На рис. 71 представлена карта гидроизогипс основного водоносного комплекса месторождения, а также показаны линии токов основных фильтрационных потоков. В плане депрессионная воронка имеет асимметрическое строение. Она вытянута вдоль оси северо-запад — юго-восток по направлению основных крупных тектонических нарушений.

Как видно из положения линий токов, основные потоки трещинно-карстовых вод, формирующиеся в горной части, попадают непосредственно в зону влияния депрессионной воронки — вдоль зоны дренирования юго-восточного направления.

Анализ многолетних данных за водопритоками в рудники, полученных В. П. Горбаниным и Л. И. Горбаниной, позволяет выявить в формировании режима водопритока определенные закономерности. Прежде всего выявляется четкая прямая зависимость между средним годовым водопритоком в рудники и количеством

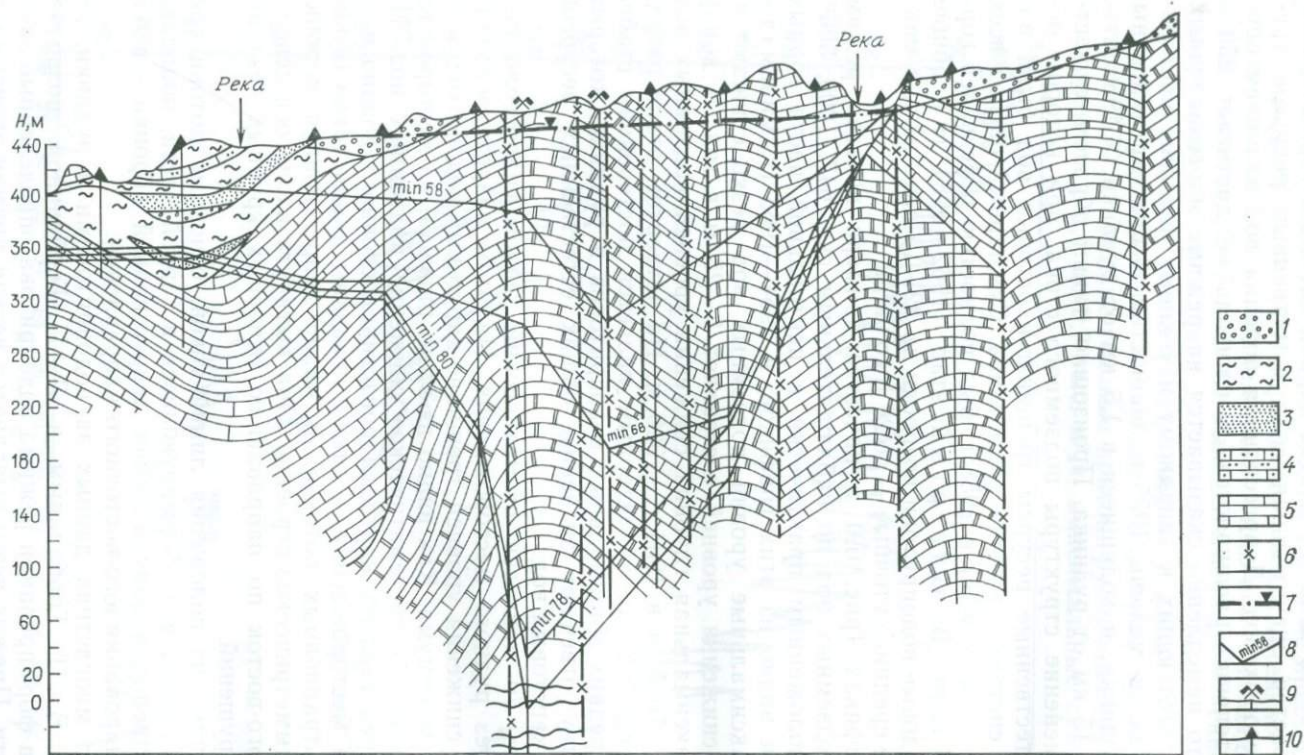


Рис. 70. Геолого-гидрогеологический профиль:

1 — рыхлые четвертичные образования; 2, 3, 4 — песчано-глинистые породы мелового возраста; 5 — карбонатные породы палеозойского возраста; 6 — тектонические нарушения; 7 — уровень подземных вод в естественных условиях; 8 — депрессионная воронка на различное время осушения горных пород (min 68—1978 г.); 9 — шахтный ствол; 10 — скважина

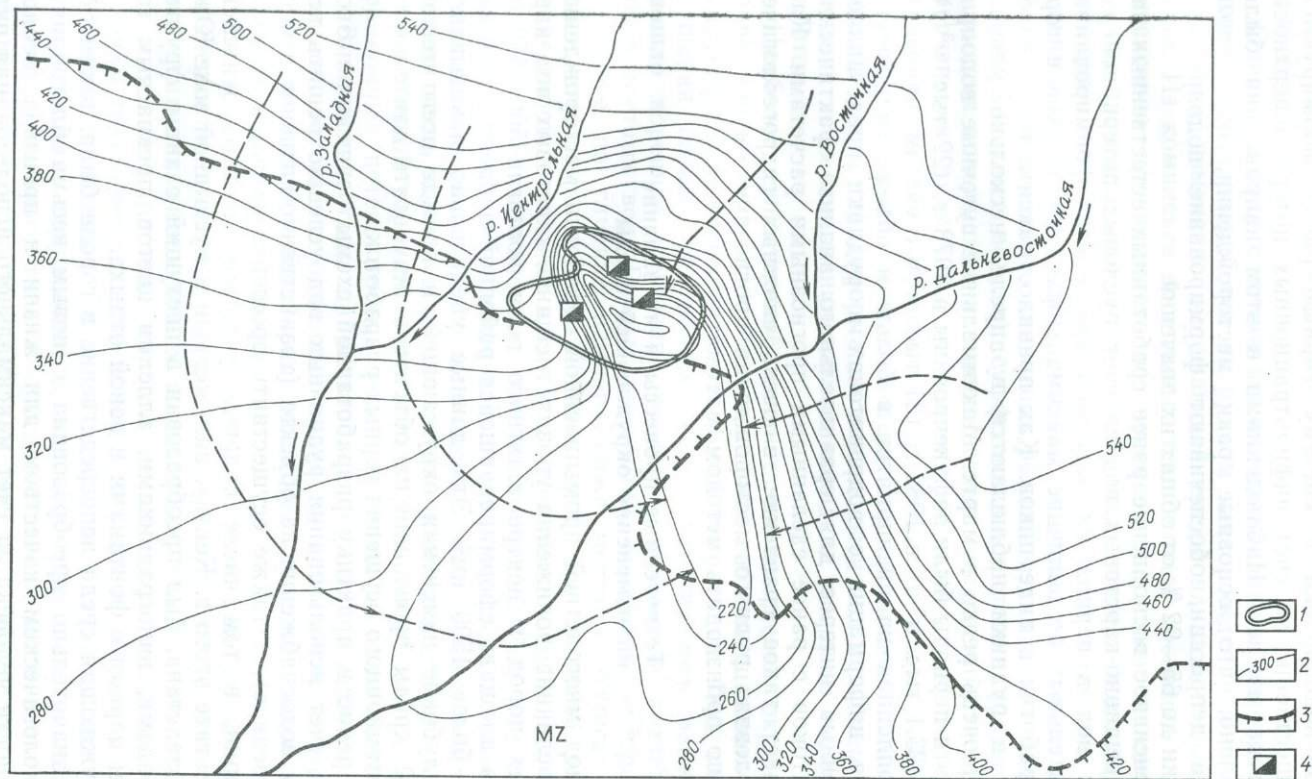


Рис. 71. Карта гидроизогипс:

1 — контур горных работ; 2 — гидроизогипсы; 3 — граница распространения мезо-кайнозойских отложений; 4 — шахта.
Стрелками показано направление стока

выпавших атмосферных осадков на водосборной площади. Максимальные водопритоки в систему горных работ формируются преимущественно за счет инфильтрационных потерь поверхностного стока из рек. Наблюдениями в этом направлении было установлено, что основные реки месторождения, охваченные воронкой депрессии, обеспечивают формирование водопритоков в рудники до 65—92 % от общих их значений.

Интенсивное восполнение ранее сработанных естественных запасов трещинно-карстовых вод за счет русловых потерь поверхностных вод в период их паводков приводит к формированию исключительных по величине максимальных водопритоков в горные выработки в виде пиков. Как правило, максимальные водопритоки в рудники наблюдаются в апреле, несколько меньше в мае и очень редко в марте. Максимальные суточные водопритоки в эти периоды были зафиксированы в 1973 г. (22 тыс. м³/ч), 1981 г. (23,1 тыс. м³/ч) и 1982 г. (31 тыс. м³/ч с учетом прорыва).

Накопленная на предприятии в большом объеме гидрогеологическая информация о водопритоках в рудники представляет несомненный интерес для сравнительного анализа фактических водопритоков с ранее сделанными прогнозными расчетами. Как показывает такое сравнение, в очень сложных гидрогеологических условиях рудного месторождения прогнозную оценку целесообразно производить методом математического моделирования.

Техногенные процессы и их влияние на изменение окружающей среды

За период многолетней промышленной отработки месторождения общая величина понижения уровня трещинно-карстовых вод карбонатных пород в центре шахтного поля достигла 500—550 м, а общая площадь сформировавшейся районной депрессионной воронки — более 1500 км². Эти данные убедительно показывают, какие глубокие изменения окружающей, и прежде всего геологической, среды произошли на объекте в результате длительного эксплуатационного осушения горных разработок.

Внедрение в практику разработанной схемы осушения позволило за счет использования рудничных вод успешно решить все вопросы водоснабжения на объекте (хозяйственно-питьевое и производственное), а также осуществить орошение земель городской территории, в том числе садовых участков местных жителей. В результате этого г. Кентау, заложенный в пустынной зоне Южного Казахстана, был преобразован в цветущий оазис с фруктовыми садами, виноградниками, аллеями цветов, прекрасным городским парком с фонтанами и зоной отдыха.

Окружающая среда непосредственно в городе была, таким образом, значительно преобразована с новым весьма благоприятным экологическим качеством для жизни и производственной деятельности человека за счет максимального использования рудничных вод месторождения. Достаточно в этом отношении отме-

тить, что фактическое потребление воды на душу населения в городе горняков на хозяйственно-питьевые нужды составляет 1200—1300 л/сут.

Однако наряду с этими весьма позитивными факторами осушение горных разработок на рудном месторождении повлияло на негативное изменение окружающей среды на значительной площади. Из комплекса негативных техногенных процессов наиболее интенсивно проявляются: а) процессы осушения и связанные с ними процессы истощения естественных запасов подземных вод, дренирования влаги с окружающей площади влиянием осушительных устройств (дренирование родникового стока и др.); б) процессы коренного изменения режима взаимосвязи подземных и поверхностных вод; в) суффозионно-карстовые процессы, деформация поверхности и поверхностных сооружений; г) процессы загрязнения рудничных, а также подземных вод на участке эксплуатации хвостохранилища; д) процессы подтопления части территории города за счет потерь при орошении, поливе улиц, скверов и т. д.; е) деформация поверхности под влиянием формирования зоны сдвижения горных пород на площади горных разработок.

Наиболее существенное влияние на изменение окружающей среды оказывают процессы осушения водовмещающих пород и дренирования влаги с окружающей территории. Под влиянием осушения горных разработок, как подчеркивалось ранее, произошло коренное изменение режима взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Горные выработки, горизонты которых расположены по глубине намного ниже местного базиса эрозии, стали играть роль искусственных дрен. На площади районной депрессионной воронки в связи с этим четко отмечалось формирование инфильтрационных потерь поверхностных вод по всем рекам местной гидрографической сети, которые в паводковое время являются основным источником обводнения объекта. Осушенная часть водовмещающих палеозойских известняков в центре депрессионной воронки стала играть роль аккумулятора инфильтрационных потерь речных вод и регулятора подземного стока.

В последние годы на месторождении были выявлены суффозионно-карстовые техногенные процессы и процессы подтопления части городской территории, которые ухудшают экологическое качество окружающей среды.

На рис. 72 представлен гидрогеологический разрез участка интенсивного проявления суффозионно-карстовых процессов в водовмещающих палеозойских известняках. Ранее отмечалось, что все крупные карстовые полости на месторождении приурочены к зонам тектонических нарушений, и в первую очередь к сложной системе сопряженных Главного и Южного надвигов. Именно по этим крупным нарушениям в основном развиваются карстовые полости локального типа и прослеживаются почти все зафиксированные суффозионно-карстовые воронки. Наиболее крупная деформация поверхностных сооружений на рудном месторожде-

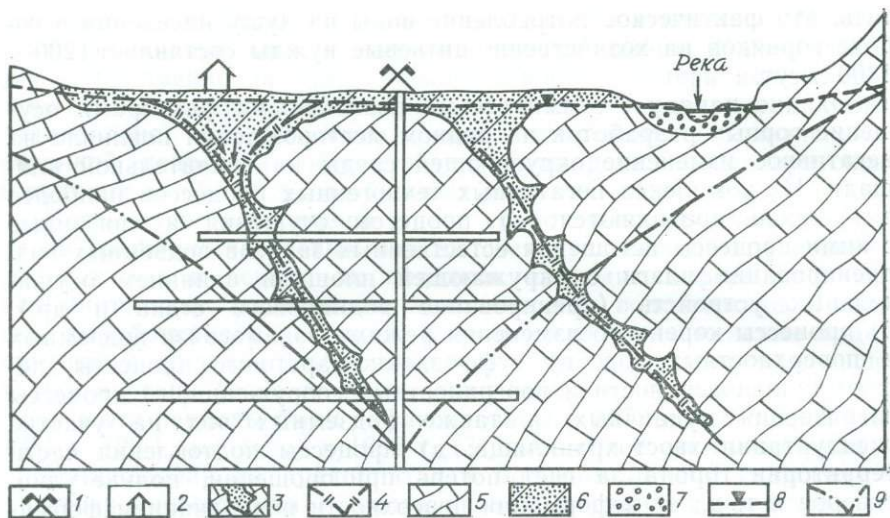


Рис. 72. Разрез участка проявления суффозионно-карстовых процессов:

1 — шахта; 2 — здание, подверженное деформации; 3 — древняя карстовая полость; 4 — воронки обрушения; 5 — известняки; 6 — рыхлый материал древней карстовой полости; 7 — галечники; 8 — уровень подземных вод; 9 — депрессионная воронка

нии на площади провальной воронки произошла непосредственно в черте пригородных сооружений.

Учитывая непосредственное примыкание территории города к границам горного отвода региональной депрессионной воронки на объекте были проведены специальные комплексные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования с целью изучения условий формирования и прогнозной оценки возможного распространения суффозионно-карстовых процессов, а также разработки мероприятий по защите окружающей среды. На изучаемой территории была оборудована дополнительная сеть наблюдательных пунктов с целью более детального изучения режима подземных вод и процесса возможной деформации поверхности. Результаты комплексных исследований и режимных наблюдений позволяют выполнить прогнозную оценку возможного развития в дальнейшем суффозионно-карстовых процессов и одновременно предотвратить их негативное влияние на окружающую среду.

Выше отмечалось, что все земли в черте городской территории интенсивно орошаются и обводняются. Инфильтрационные потери оросительных вод определили формирование в песчаных прослоях пород зоны аэрации водоносного горизонта почвенных вод. Территория города представляет собой плоскую, наклоненную к югу равнину с весьма слабой степенью естественной дренированности. Это определяет благоприятные условия подтопления некоторых жилых зданий, расположенных в пониженных частях территории города. Частичное затопление подвалов ухуд-

шает инженерно-геологические свойства геологической среды и может повлиять на устойчивость гражданских сооружений. Результаты проведенных исследований в части детального изучения условий формирования техногенных процессов подтопления жилых зданий позволили обосновать необходимые защитные мероприятия геологической среды с помощью микродренажа отдельных участков города.

Приведенная весьма краткая характеристика влияния промышленной отработки рудного месторождения на характер и степень изменения окружающей среды позволяет сделать следующие выводы. Очень важно по результатам разведки месторождения еще в предпроектную стадию промышленной отработки объекта произвести прогноз возможного проявления негативных техногенных процессов при будущей эксплуатации, которые несомненно будут ухудшать экологическое качество окружающей среды. В этом направлении целесообразно проводить специальные комплексные исследования. Не менее важно также предусматривать непосредственно в проектах освоения рудных месторождений строительство мероприятий по защите окружающей среды от негативного воздействия техногенных процессов, неизбежность проявления которых не вызывает сомнений.

Вместе с тем особое значение приобретает рациональное размещение отдельных объектов при эксплуатации рудных месторождений, и в первую очередь раздельное размещение (на некотором удалении) жилищного сектора от границ горного отвода и расположения промышленных предприятий.

Глава 14

ОСОБО СЛОЖНЫЕ УСЛОВИЯ РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Природные условия

Рудное месторождение расположено на востоке СССР в пределах левого берега нижнего течения крупной реки. Ширина реки на изучаемом участке по современному руслу составляет более 2,5 км, расход реки в межень — несколько сотен кубических метров в 1 с. Часть рудных тел на месторождении находится непосредственно под современным руслом реки, что создает особо сложные природные условия промышленной отработки объекта. В дальнейшем в связи с проектируемым строительством гидроэлектростанции эксплуатация месторождения еще более осложнится под влиянием техногенных факторов.

В геологическом строении объекта принимают участие толщи пород протерозойского возраста мощностью 750—950 м, представленные слонстыми известняками, переслаивающимися с кварцкарбонатными сланцами. Рудовмещающими являются карбонат-

ные породы, а подстилающими — сланцы. Вся толща пород на месторождении очень сложно дислоцирована в крутые складки и разрывные структуры. Повсеместно, за исключением береговых обрывов реки, более древние породы перекрыты осадками четвертичного возраста аллювиального, элювиального и элювиально-делювиального происхождения. Аллювиальные отложения слагают террасы реки и представлены гравийно-галечными, песчано-галечными и супесчаными отложениями, мощность их непосредственно в пределах русла реки менее 5 м, в прибрежной части в связи с развитием верхних террас — до 28 м. Элювиальные отложения на площади рудного поля заполняют «карманы» коры выветривания коренных пород глубиной до 40—250 м и представлены продуктами выветривания известняков.

Месторождение приурочено к восточному крылу синклинали складки второго порядка (рис. 73). В крыле синклинали складки, в лежачем боку месторождения, прослежена зона тонкого рассланцевания крабонатных рудовмещающих пород северо-западного простирания и юго-западного падения мощностью 100—150 м. Породы всячего бока месторождения разбиты многочисленными трещинами скола, вдоль плоскостей которых образовались межпластовые зоны трещиноватости и дробления. Мощность пород, интенсивно раздробленных, перетертых и разбитых густой сетью трещин, в береговой обнаженной части месторождения составляет 10—12 м, в подруслоевой — 50—100 м (по данным бурения скважин). Всего в всячем боку месторождения было встречено 13 значительных по мощности зон интенсивной трещиноватости. Важным является вопрос об условиях формирования и распространения в карбонатных рудовмещающих породах

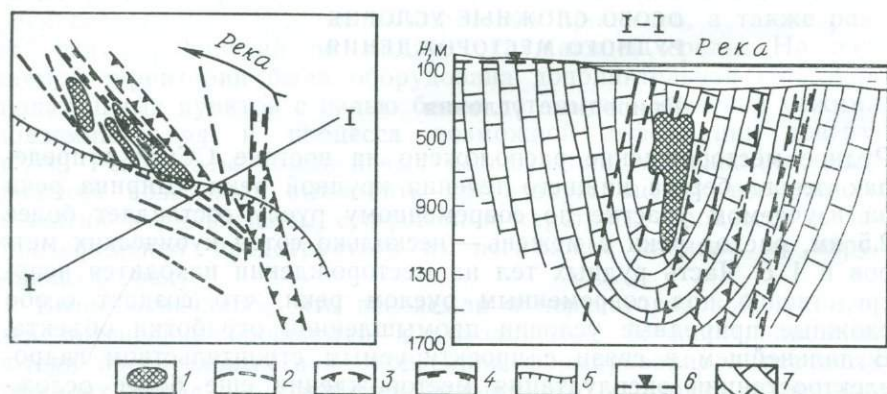


Рис. 73. Тектоническая схема (а) и схематический гидрогеологический разрез по линии I—I (б) месторождения:

1 — рудное тело; 2 — линии разрывных нарушений; 3 — зона рассланцевания пород; 4 — меридиональная зона интенсивного дробления пород; 5 — береговая линия; 6 — уровень подземных вод до начала отработки месторождения; 7 — известняки

дах крупных карстовых форм. Непосредственно в обнажениях по правому и левому берегу реки довольно четко прослеживаются открытые и сравнительно крупные карстовые полости размером до 0,5—1 м, зияющие на глубину. Мелкие каверны и зоны повышенной трещиноватости пород встречены непосредственно в процессе бурения скважин на различных глубинах, особенно в интервале от 350 до 1210 м. Крупные карстовые полости в процессе буровой разведки в известняках не встречены. Однако можно предполагать, что карстовые полости по глубине могут иметь место в очень сложных условиях их распространения.

Изменения рудовмещающих пород под влиянием метаморфизма и тектонических нарушений носят различный характер. Например, у северо-западного рудного тела (под руслом реки) по зонам дробления пород отмечается проявление интенсивных процессов выщелачивания — своеобразный тип кавернозных, местами интенсивно дробленных пород на глубину до 132 м. В других тектонических зонах, отмеченных на площади рудного поля, вблизи сместителя или на границе с ним, породы тонко размолоты до состояния тектонического песка (катаклазиты) или тонко истерты до состояния глин (меланиты). Грубое дробление пород на отдельных участках отмечается образованием брекчий. Переходная зона от брекчирования к скальному состоянию пород проходит через раздробленную сильно трещиноватую породу — кикирит. Как видно из краткой характеристики, месторождение имеет очень сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия промышленной его отработки.

Фильтрационные свойства рудовмещающих и рыхлых аллювиальных пород по данным опытно-фильтрационных работ, проведенных различными организациями, изменяются в широких пределах. Коэффициент фильтрации аллювиальных отложений колеблется от 0,001 (суглинки и супеси) до 151 м/сут (гравийно-галечниковые отложения). Еще больший разброс значений коэффициента фильтрации имеют протерозойские рудовмещающие породы в различных условиях их залегания и изменения. Ниже приведены средние значения коэффициентов фильтрации различных пород (м/сут).

Скальные слабо трещиноватые породы	0,25—0,46
Породы зон тонкого истирания	0,54
Катаклазиты	4,24
Брекчии	0,4
Породы зон глубокого дробления	20,36
Интенсивно трещиноватые породы	1—46,8

На площади рудного месторождения выделяются три типа подземных вод: грунтовые четвертичных отложений, трещинно-грунтовые коры выветривания коренных пород и трещинно-жильные зоны тектонических нарушений. Все перечисленные типы подзем-

ных вод гидравлически связаны между собой и представляют как бы единый водоносный комплекс, распространенный не только на площади месторождения, но и за его пределами. Глубина залегания уровня подземных вод изменяется от 1,5 до 20 м; питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и подземного стока, направленного со стороны гипсометрически вышележащих высоких террас долины реки (за пределами месторождения). Разгружаются все типы подземных вод в естественных условиях в сторону реки (в виде родников и подземного стока).

Подземные воды по химическому составу гидрокарбонатно-кальцево-магниевого, пресные с минерализацией на различных участках месторождения от 0,273 до 1,64 г/л. Общая жесткость 2,7—24,1 ммоль, рН=5—7,8. Воды реки гидрокарбонатные, минерализация их 0,1 г/л, общая жесткость 2 ммоль, рН=7,3. Природные газы в процессе разведки на месторождении не были обнаружены.

Как видно из краткого описания, природная геологическая среда промышленного освоения месторождения является весьма сложной и требует разработки специальных мер защиты горных работ от подземных и поверхностных вод, а также инженерно-геологических процессов. Дополнительные меры защиты должны быть разработаны для всей промплощадки в целом в связи с возможным строительством гидроэлектростанции.

Промышленная отработка месторождения и система защиты горных разработок от обводнения поверхностными и подземными водами, а также инженерно-геологических процессов

На рассматриваемом месторождении рудные тела располагаются непосредственно под акваториями, кроме того, условия промышленной отработки месторождения еще более осложняются в связи с повышением на 40 м уровня воды в реке после создания ГЭС.

Отработка месторождения планируется в условиях значительного оттеснения реки к правому берегу поочередно двумя вододерживающими дамбами, а также применения системы специального дренажа. Проектируется комбинированный способ отработки месторождения, т. е. верхние рудные горизонты до глубины 400 м будут обрабатываться открытым способом, а нижние — до глубины 1000 м — подземным. В связи с особо сложными условиями месторождения и отсутствием опыта эксплуатации планируется осваивать месторождение в три этапа.

Первый этап предусматривает строительство опытного карьера первой очереди и отработку месторождения до глубины 60 м в подрусовой его части при бытовом положении уровня воды в реке под защитой временной малой водоотводящей дамбы

(высотой 6—8 м) от поверхностных вод реки и системы поверхностного дренажа от подземных вод (рис. 74).

На втором этапе по мере накопления опыта планируется строительство карьера 2-й очереди и отработка месторождения до глубины 400 м под защитой капитальной водоотводящей дамбы высотой до 12 м, а также комплекса поверхностного и подземного дренажа (рис. 75).

Третий этап предусматривает сооружение подземного рудника и отработку месторождения на всю проектную глубину под защитой системы дренажа, содержание которого должно быть уточнено в процессе карьерной отработки месторождения.

Защита карьеров и подземного рудника от поверхностных вод реки, как отмечалось, осуществляется путем сооружения вначале временной, а затем капитальной водоотводящих дамб. Поверхностные воды, фильтрующиеся через дамбы со стороны реки, будут улавливаться специальным придамбовым дренажем. В местах пересечения дамбами зон интенсивной трещиноватости и дробления

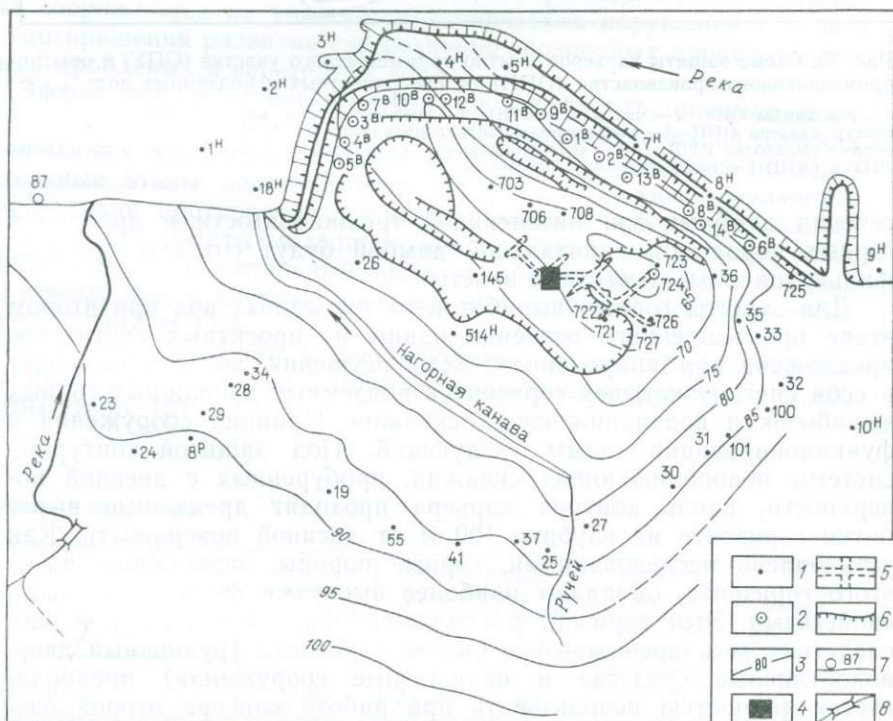


Рис. 74. Карта гидроизогипе и пунктов режимных наблюдений участка карьера опытно-промышленного производства на декабрь 1984 г.:

1 — скважины сети режимных наблюдений; 2 — водоподнимающие скважины; 3 — гидроизогипсы; 4 — РЭШ; 5 — дренажные горные выработки; 6 — откосы карьера; 7 — относительная среднегодовоелетняя отметка уровня воды в реке; 8 — гидропост

ния дренажными горными выработками водопонижающих скважин последние при дренаже будут функционировать как сквозные фильтры. Насосные станции для откачки рудничных вод из дренажной системы будут сооружаться на всех четырех проектируемых дренажных горизонтах.

Подземные дренажные горизонты на объекте будут построены на глубинах 220, 330 и 420 м. Сооружение их проектируется под защитой водопонижительных скважин. При проходке дренажного горизонта 420 м предусматривается дополнительное бурение водопонижающих скважин глубиной 200—250 м из специальных подземных камер для защиты подземного рудника от подземных вод.

Для повышения степени обеспеченности безопасных условий работ на уровне дренажного горизонта на глубине 100 м предусматривается создание с поверхности цементационных противofильтрационных завес на глубину 2150 м; для более глубоких дренажных горизонтов — создание завес непосредственно из подземных горных выработок. Таким образом, на месторождении создается ярусная система противofильтрационных завес, которые сооружаются на участках тектонических нарушений с целью предотвращения развития суффозионно-эрозионных процессов размыва дробленных и перетертых пород.

Эффективность проектируемых противofильтрационных завес оценивалась методом математического моделирования на плоских профильных моделях на приборе ЭГДА. Моделировались последовательные этапы действия всех четырех дренажных горизонтов при наличии противofильтрационных завес и в условиях их отсутствия. Результаты моделирования показали, что влияние завес может оказать значительный эффект; сокращение общего притока подземных вод в систему дренажа при создании непроницаемых завес достигало 33 %.

При моделировании и аналитических расчетах противofильтрационных завес были приняты определенные расчетные параметры (табл. 12).

ТАБЛИЦА 12

Расчетные параметры

Зона	Водопроницаемость пород, м ² /сут	Толщина завесы, м	Радиус распространения тампонажного раствора м	Расстояние между нагнетательными скважинами, м	Расстояние между рядами скважин, м
Дробления	2100	25	13	22	11
Трещиноватых известняков	1580	16,7	9	15	7,5
Выщелачивания и расщепления	35	10,0	6	9	4,5
Метаморфических известняков	230	—	—	—	—

Первый опыт создания цементационных завес на объекте был проведен в 1974 г. Результаты опытно-промышленных исследований показали, что для конкретных инженерно-геологических и гидрогеологических условий рассматриваемого объекта возведение противofильтрационных завес является весьма сложным процессом и требует более детальных исследований опытно-промышленного профиля. Поэтому было принято решение продолжить исследования в этом направлении, с тем чтобы впоследствии провести корректирование проекта осушения.

Прогнозная оценка водопритоков в горные выработки

Как известно, для обоснования осушения горных разработок, необходимо выполнить прогнозную оценку общих водопритоков. На месторождении была произведена оценка водопритоков для условий первой очереди карьерной разработки месторождения.

Гидрогеологические расчеты выполнялись в соответствии со степенью изученности геолого-гидрогеологических условий месторождения, проектными разработками способов осушения и календарным графиком проведения работ. В качестве геофльтрационной расчетной схемы для данных условий была принята схема безнапорного полуограниченного пласта с границей постоянных напоров (река) с несовершенными дренами, устроенными вдоль реки. В таких гидрогеологических условиях движение подземных вод в короткий срок принимает стационарный характер. По фильтрационным свойствам пород вся площадь рудного месторождения разделялась на два участка — участок русловой части реки с более высокими коэффициентами фильтрации пород ($k_1 = 4,2$ м/сут) и береговой — участок непосредственного расположения карьера ($k_2 = 1$ м/сут). Для всей изучаемой верхней толщи (300 м) водоносных пород принимался средневзвешенный $k = 2,6$ м/сут. Радиус влияния при расчетах принимался как среднее расстояние от центра карьера или контура дренажных устройств (в зависимости от цели расчета) до зоны постоянного напора — реки, отнесенной от карьера специальной водоотводной дамбой. Величина понижения уровня для глубины отработки карьера 100 м (первой очереди) отсчитывалась от статического уровня подземных вод; для нижележащих горизонтов (на глубинах более 100 м) — от сниженных уровней. Эти уровни рассчитывались с учетом влияния фильтрационных завес (которые должны быть устроены под основанием водоотводной дамбы) методом усреднения коэффициентов фильтрации.

Прогнозные общие водопритоки подземных вод в карьер первой очереди оценивались аналитическими расчетами для схемы

«большого колодца» несовершенного типа в безнапорных условиях по следующей зависимости:

$$Q = \pi k S \left[\frac{S}{\ln \frac{R+r_0}{r_0}} + \frac{2r_0}{\frac{\pi}{2} 2 \operatorname{arcsch} \frac{r_0}{T + \sqrt{T^2 + r_0^2}} + 0,515 \frac{r_0}{T} \ln \frac{r_0}{T}} \right],$$

где k — средневзвешенные значения коэффициента фильтрации; S — понижение уровня подземных вод; R — радиус влияния; r_0 — приведенный радиус «большого колодца»; T — высота центра рабочей части скважины над водоупором.

Прогнозный приток подземных вод к системе кольцевого контура водопонижающих скважин, построенных вокруг карьера с целью его опережающего осушения, определялся по следующему уравнению (для условий ранее принятой расчетной геофильтрационной схемы):

$$Q = \pi k s \left[\frac{2}{\ln \left(\frac{R^n}{nr_0^{n-1} r_c} \right)} + \frac{2T\beta}{(1+\beta)N} \right],$$

где k — средний коэффициент фильтрации пород с учетом влияния противофильтрационных завес и зоны расланцевания; n — число скважин; r_c — радиус скважины.

Значения T , β и N могут быть получены по формулам:

$$T = H - h; \quad h = S + l/2; \quad \beta = n/\xi;$$

$$\xi = \frac{T}{l} \left[2 \ln \frac{4T}{r_c} - f \left(\frac{l}{2T} \right) - 1,38; \quad N = \ln \frac{R^n}{nr_0^{n-1} T}, \right]$$

где H — высота непониженного уровня подземных вод в месте расположения скважины (считая от подошвы слоя) — мощность водоносного горизонта грунтовых вод; h — высота статического уровня над центром рабочей части скважины (фильтра); l — высота столба воды в несовершенной скважине (длина рабочей части скважины).

Определение дебита системы взаимодействующих водопонижающих скважин проведено по уравнению А. В. Романова для линейного ряда совершенных вертикальных дрен с введением в уравнение коэффициента несовершенства α , предложенного С. К. Абрамовым:

$$Q'_0 = \frac{\pi k_2 (2H - S) S \alpha}{\ln \frac{\sigma}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma \pi}};$$

$$\alpha = \frac{l}{H} \left[1 - 7 \left(\ln \frac{l}{H} \sqrt{\frac{r_c}{H}} \right) \right],$$

где k_2 — коэффициент фильтрации пород в береговой части месторождения; σ — половина расстояния между скважинами в ряду;

R_1 и R_2 — расстояния от дренажной системы соответственно до дамбы и области питания (в данном случае на этой границе принято условие $Q=0$); l — глубина погружения центра рабочей части фильтра под статический уровень.

Во всех аналитических расчетах были приняты следующие значения параметров.

Коэффициент фильтрации рудовмещающих пород:	
а) в береговой части месторождения	1 м/сут
б) в русловой части	4,2 м/сут
Понижение уровня подземных вод для первой очереди карьера	100 м
Число водопонижительных скважин (и глубина)	120 (130 м)
Расстояние между скважинами	80 м

Кроме аналитических расчетов прогнозная оценка водопритоков в карьер первой очереди определялась также методом моделирования на установке ЭГДА. При этом применялись два типа моделей: двухмерные в разрезе и двухмерные в плане.

Результаты прогнозной оценки водопритоков методами аналитических расчетов и методом моделирования приведены в табл. 13.

Прогнозные водопритоки в карьер второй очереди и горные выработки при подземном способе отработки месторождения приближенно оценивались аналитическими методами и методом мате-

ТАБЛИЦА 13

Результаты прогнозной оценки водопритоков ($\text{м}^3/\text{ч}$) в карьер первой очереди

Участки водопритоков	Результаты моделирования		Результаты аналитических расчетов	Средние значения
	по линиям разрезов	по плановым моделям		
Карьер I очереди (глубиной 100 м)	5 232	3 900	5 890	5 000
	4 390	5 250	4 370	4 700
Горизонтальная дрена	10 150	10 100	10 078	10 100
	8 680	8 030	7 621	8 100
Контурная установка водопонижающих скважин	15 680	16 400	15 208	15 800
	10 150	11 450	12 038	11 200
Береговая линейная установка водопонижающих скважин	—	3 400	—	—
Береговая горизонтальная дрена	—	3 350	—	—

Примечание. В числителе приведены данные без учета фильтрационных завес и зоны расланцевания пород, в знаменателе — с учетом.

матического моделирования. Целесообразно эти приближенные прогнозные оценки, а также систему осушения скорректировать по результатам опыта промышленной отработки объекта карьером первой очереди. Особое внимание при определении прогнозной оценки гидрогеологических условий промышленной отработки рудного месторождения должно быть уделено схеме затопления участка горного строительства после завершения строительства проектируемой ГЭС.

Гидрогеологические исследования в период опытно-промышленного освоения месторождения

Учитывая сложное строение геологической среды и особо сложные условия промышленной отработки рудного месторождения, еще в стадию детальной разведки объекта были выполнены специальные гидрогеологические и инженерно-геологические работы. Наибольшее внимание при этом уделялось изучению фильтрационных и физико-механических свойств рудоносных и рудовмещающих пород и аллювиальных отложений, в том числе породам, слагающим зоны тектонических нарушений, роли этих нарушений в условиях обводнения месторождения и др.

Кроме опытных гидрогеологических скважин специального назначения, которые были пробурены в стадию разведки в 40 м от русла реки в центральной части главного рудного тела, была пройдена опытная разведочная шахта (РЭШ) глубиной 43 м (на глубину ниже отметки русла реки) с горизонтальными горными выработками общей протяженностью 303 м (см. рис. 75). Ствол разведочной шахты проходил под защитой водопонижающих скважин производительностью 400 м³/ч. Кроме того, в стволе шахты был организован дополнительный шахтный водоотлив производительностью вначале 20 м³/ч, позднее до 100 м³/ч, общий приток в подземные горные выработки и водопонижительные скважины в 1963 г. составлял 440 м³/ч.

С целью изучения условий взаимосвязи подземных вод рудовмещающих пород с поверхностными водами реки в 1961—1963 гг. на месторождении была проведена длительная групповая откачка одновременно из 12 разведочных гидрогеологических скважин длительностью 21 мес с суммарной производительностью, изменявшейся от 300 до 900—1470 м³/ч. Наблюдения за уровнем воды проводились в 90 скважинах на площади месторождения и в 50 скважинах за его пределами. Опытными работами было установлено, что в центре осушаемого массива достигнуто снижение уровня подземных вод на 21,9 м; при этом вдоль берега реки образовалась депрессионная воронка по фронту 1500 м, поперек берега она распространилась на 1200 м, а под руслом реки (см. рис. 75) — на 150 м, при этом в наблюдательных скважинах был зафиксирован отрыв уровня подземных вод от русловых

отложений реки, что указывает на весьма затрудненную форму их гидравлической связи.

По результатам опытно-фильтрационных работ были выполнены дополнительные аналитические расчеты с целью уточнения фильтрационных свойств пород на всей площади детальной разведки месторождения. На основе результатов гидрогеологических исследований в 1967 г. было составлено проектное задание на строительство на объекте первой очереди горно-обогатительного предприятия, в том числе предусматривалось строительство опытного карьера и временной водоотводной дамбы. В соответствии с требованиями проекта на объекте был проведен дополнительный комплекс работ с целью детального изучения горнотехнических и гидрогеологических условий промышленной разработки месторождения. В береговой западной части рудного поля были пройдены два шахтных дренажных ствола глубиной 110 и 104 м (на 97 и 91 м ниже отметки реки). Опытные дренажные стволы шахт входят в общую дренажную систему защиты карьера первой очереди. Из стволов шахт было пройдено 1145 м околоствольных горизонтальных выработок и выработок дренажного горизонта, были пробурены водопонижающие скважины, пройденные по контуру шахтного поля, а также сеть наблюдательных скважин глубиной 100—150 м (см. рис. 75).

Стволы дренажных шахт до глубины 100 м были пройдены под защитой водопонижающих скважин, при этом максимальный приток подземных вод в ствол шахты составлял $50 \text{ м}^3/\text{ч}$; выход рудничных вод проявлялся в виде сосредоточенных струй по отдельным трещинам. Число водопонизительных скважин, работавших на околоствольном контуре (при проходке двух шахт), изменялось от 10 до 20 с общим дебитом $450\text{—}650 \text{ м}^3/\text{ч}$. Наблюдения показали, что в процессе опытного водопонижения скважины при опытном горном строительстве работали неэффективно (часть скважин оказалась малodeбитными, у некоторых скважин были закольматированы фильтры).

Одновременно с этим были выполнены детальные исследования по трассе водоотводной дамбы длиной 1400 м, запроектированной с целью защиты опытного карьера первой очереди от поверхностных вод реки. В связи с особо сложными условиями отработки месторождения принятая система дренажа должна обеспечить безопасную отработку опытного карьера.

В 1975 г. на месторождении было завершено строительство опытно-промышленного участка (ОПУ) по добыче руды открытым способом, основными объектами которого являлись: опытный карьер, водозащитная дамба, дренажная и водопонижающие системы. В результате работ действующего дренажного комплекса и опытно-промышленного участка были: уточнены гидрогеологические и горнотехнические условия верхней части месторождения, в пределах которой предусматривается отработка месторождения карьером первой очереди; изучены устойчивость и фильтрационные свойства пород тела водозащитной дамбы, фильтрационные

свойства пород в основании дамбы, а также пород и руд, залегающих в русле реки; взаимосвязь подземных вод с поверхностными водами реки; выяснена эффективность принятой схемы защиты карьера опытного участка от подземных и поверхностных вод. Водопонижение на карьере опытного участка (см. рис. 75) проводилось в основном с помощью трех скважин (721, 722, 724). При снижении уровня подземных вод до кровли выработок разведочно-дренажных шахт суммарный дебит скважин составлял 560 м³/ч. В результате образовалась эллиптическая по форме в плане депрессионная воронка, ориентированная длинной осью вдоль простирания водовмещающих пород.

Строительство и опыт эксплуатации карьера на опытном участке показали, что система водозащитных сооружений (дренажная установка) обеспечивает надежную защиту горных работ от обводнения поверхностных и подземных вод. Водозащитная дамба, которая была построена из местных строительных материалов (известняка, суглинок), практически хорошо удерживала фильтрацию поверхностных вод со стороны реки. Контрольные шурфы, пройденные в теле дамбы до ее основания, оказались сухими.

Накопленный опыт горнотехнического строительства в сложных природных условиях позволил в 1976 г. принять решение о строительстве на месторождении ОПП, в составе которого предусматриваются карьер глубиной 60 м с системой защиты его от поверхностных и подземных вод (см. рис. 74), обогатительная фабрика для переработки руд, водозаборное сооружение и другие вспомогательные объекты. Основные характеристики (м) объектов опытно-промышленного освоения приведены ниже.

Длина карьера по поверхности	490
Ширина карьера	220
Глубина карьера	60
Глубина понижения уровня подземных вод в системе осушения	100
Длина водозащитной дамбы	750
Максимальное удаление оси дамбы от береговой линии реки	230

Как показали расчеты, прогнозные водоприток в карьер при достижении проектной глубины могут составлять 1100 м³/ч.

На месторождении производится опытная отработка рудных залежей карьером на глубине 22—25 м от среднесноголетнего уровня реки. Осушение карьера производится с помощью водопонижающих скв. 26, 1^в, 2^в, 3^в, 4^в и 5^в и 724 (рис. 76). В результате опытного осушения и наблюдений за режимом подземных вод было установлено, что группа водопонизительных скважин северной части контурной системы (скв. 9^в, 11^в, 12^в) не оказывает влияния на осушение карьера, так как эти скважины ока-

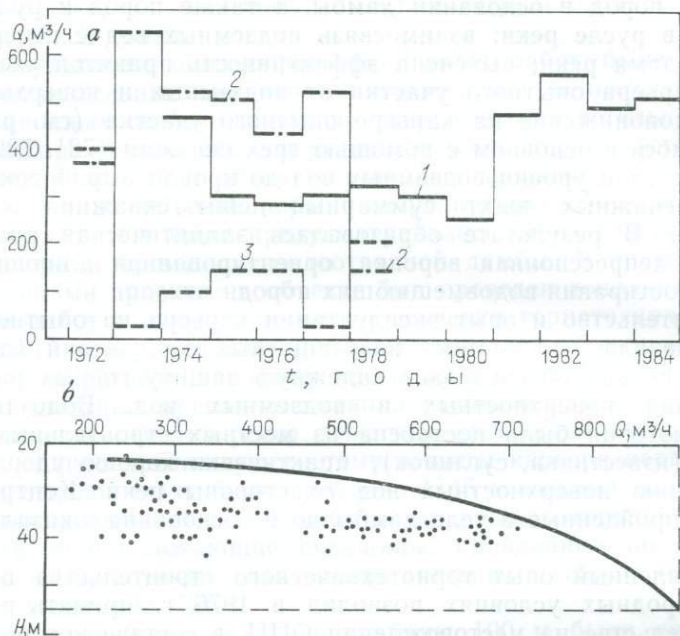


Рис. 76. Водопритоки в карьер и подземные горные выработки при опытно-промышленном освоении месторождения:

a — изменение водопритоков во времени; *б* — водопритоки в карьер при различной его глубине (данные за 1975—1984 гг.).

Водопритоки: 1 — в карьер, 2 — в дренажную шахту, 3 — к системе водопонижающих скважин шахтного куста

зались на участке, отделенном от карьера сравнительно мощной зоной рассланцевания пород (см. рис. 75). В фильтрационном отношении зона рассланцованных пород играет роль природной водонепроницаемой завесы. В силу более низкого гипсометрического положения устьев скв. 9^в и 11^в в установившейся хорошей гидравлической связи их с рекой в этих скважинах наблюдается самоизлив подземных вод. Самоизливающаяся вода по нагорной канаве отводится в скв. 1^в и погружным насосом откачивается в реку. У основания водоотводной дамбы вблизи скв. 1^в обнаружен источник, формирующийся за счет фильтрации вод из реки. Суммарный дебит самоизлива скв. 9^в, 11^в и источника около 100 $\text{m}^3/\text{ч}$. За зоной рассланцованных пород в карьере отмечаются выходы отдельных источников с дебитом до 3—5 $\text{m}^3/\text{ч}$. Гидравлическая связь всех указанных источников и самоизливающих скважин с рекой идентифицируется по химическому составу вод. Выявленное в процессе опытной отработки месторождения наличие тонко рассланцованных пород, играющих роль противофильтрационных завес, позволяет внести некоторые коррективы в проект

осушения карьера, размещения капитальной водозащитной дамбы, а также условия строительства техногенной и противofiltrационных цементных завес.

Опыт отработки месторождения карьером позволил также в значительной степени уточнить расчетные гидрогеологические параметры водоносных пород на участке карьера, проверить достоверность методики ранее выданных прогнозов водопритоков в карьер.

В процессе стационарных режимных наблюдений было установлено, что при работе некоторых водопонижительных скважин отмечаются вынос водой на поверхность мелкозернистого перетертого материала и интенсивное их заиливание — суффозионно-филтратационные техногенные процессы. У скв. 10^в суффозионно-филтратационные техногенные процессы сопровождались оседанием дневной поверхности и образованием провальной воронки. Отмеченные факты подтверждают необходимость последующего систематического изучения суффозионных процессов и учета их возможного негативного влияния на горнотехнические условия освоения месторождения.

В целом гидрогеологические исследования при опытно-промышленном освоении месторождения представляют собой хороший пример последовательного и целеустремленного получения знаний о влиянии техногенных факторов на окружающую среду и принятии решений на основе обратных связей.

Охрана окружающей среды при промышленной отработке рудного месторождения

На основании накопленного опыта освоения объекта и детального изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий можно наметить прогнозную оценку возможного развития техногенных процессов на месторождении и их негативного влияния на окружающую среду.

Непосредственно под влиянием осушения горных разработок несомненно произойдет перераспределение структуры подземного стока; горные выработки будут являться основными дренами для всех типов подземных и поверхностных вод; может произойти изменение гидрохимической обстановки под влиянием процессов окисления рудной минерализации, эксплуатации хвостохранилища и др.

Как установлено наблюдениями, под влиянием водопонижения на месторождении могут интенсивно развиваться суффозионно-филтратационные, возможно, и суффозионно-карстовые процессы, которые наиболее опасны в русловой части реки. В результате негативного влияния этих процессов может возникнуть необходимость радикального улучшения всей запроектированной системы водопонижения и защиты горных работ от поверхностных вод.

ТАБЛИЦА 14

Градиенты фильтрационного потока

Ширина трещин, мм	Градиент фильтрационного потока на контакте	
	супеси с известняками	суглинка с известняками
1	0,2	1
2	0,04	0,4
3	0,02	0,3

Определенный интерес представляют результаты экспериментальных исследований, проведенных для прогнозной оценки возможного развития суффозионных процессов в трещиноватых породах в зонах тектонических нарушений в зависимости от градиентов потока (табл. 14).

Как показали прогнозные оценки формирования депрессионной воронки, градиенты потока при будущей эксплуатации месторождения будут превышать допустимые значения градиентов и, следовательно, суффозионные процессы неизбежно будут развиваться. В этом случае необходимо продолжить натурные и экспериментальные исследования, с тем чтобы в дальнейшем учесть их результаты при уточнении проекта осушения месторождения и защиты геологической среды от негативного влияния техногенных процессов.

Буровзрывные работы, постоянно проводящиеся на карьере, могут повлиять как на изменение фильтрационных свойств пород, так и на более интенсивное развитие суффозионных процессов. В связи с этим в состав стационарных наблюдений необходимо включать дополнительные наблюдения за режимом работы действующих водопонижающих скважин и источников до и после проведения буровзрывных работ в карьере и фиксировать величину применяемого заряда, способ взрывания и расстояние от пункта наблюдения до эпицентра взрыва. Такой характер стационарных наблюдений позволит в дальнейшем уточнить технологию буровзрывных работ и выбрать более безопасные условия их проведения.

Охрана окружающей среды на предприятии потребует уже в стадию опытного освоения бережного отношения к сохранению качества поверхностных вод. Возможными источниками их загрязнения могут явиться: горный цех, обогатительная фабрика, жилой массив. В этой связи становятся весьма актуальными вопросы комплексного изучения режима подземных и поверхностных вод на всех очагах возможного формирования техногенеза.

Следует отметить, что на объекте режимные гидрогеологические наблюдения проводятся систематически комплексно, начи-

ная со стадии детальной разведки. Наблюдательная сеть на месторождении должна развиваться таким образом, чтобы полностью охватить площадь распространения всех объектов горнорудного предприятия, включая водозаборное сооружение будущего хвостохранилища, рабочего поселка и т. д.

В заключение следует отметить, что на месторождении, имеющем особо сложные условия, можно проводить опытно-промышленную отработку с попутной добычей руды. Это позволит постоянно корректировать проектные разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов С. К.* Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Стройиздат, 1973.
2. *Абрамов С. К., Газизов М. С., Костенко В. И.* Защита карьера от воды. М., Недра, 1976.
3. *Боревский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., Недра, 1979.
4. *Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Ородовская А. Е.* Защита подземных вод от загрязнений. М., Недра, 1979.
5. *Гавич И. К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М., Недра, 1980.
6. *Гавич И. К., Семенова С. М., Швец В. М.* Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М., Высшая школа, 1981.
7. *Гидрогеологические исследования в горном деле/Под ред. В. А. Мироненко.* М., Недра, 1976.
8. *Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты (методические указания)/Под ред. К. И. Антоненко, Е. Г. Чаповского.* М., Недра, 1976.
9. *Гидрогеологические основы охраны подземных вод (в двух томах).* Центр Международных проектов ГКНГ ЮНЕСКО. М., 1984.
10. *Гидротехника в горном деле и строительстве/Под ред. Н. А. Плотникова.* М., Недра, 1978.
11. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М., Недра, 1984.
12. *Дробноход Н. И., Язвин Л. С., Боревский Б. В.* Оценка запасов подземных вод. Киев, Высшая школа, 1982.
13. *Израэль Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды. М., Гидролитиздат, 1984.
14. *Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод.* М., изд. Управления Совмина СССР, 1984.
15. *Крашин М. И., Пересунько Д. И.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования. М., Недра, 1976.
16. *Лукнер Л., Шестаков В. М.* Моделирование геофильтрации. М., Недра, 1976.
17. *Мельников Н. В.* Будущие горные разработки.— В кн.: Рациональное использование земной коры. М., 1974, с. 18—27.
18. *Методические рекомендации по проведению гидрогеологических исследований на стадии детальной разведки месторождений твердых полезных ископаемых.* М., ВИМС, 1981.
19. *Мироненко В. А., Норватов Ю. А.* Гидрогеологические расчеты в горном деле. Справочное руководство гидрогеолога. Л., Недра, 1979, Т. 1, с. 335—364.
20. *Мироненко В. А., Румынин В. Г., Учаев В. К.* Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. Л., Недра, 1980.
21. *Осушение выработок в неоднородных водоносных системах.* М., Недра, 1977.
22. *Осушение при строительстве железорудных месторождений.* М., Недра, 1977.
23. *Охрана окружающей среды при осушении рудных месторождений/ Н. И. Плотников, И. И. Рогинев, В. А. Аветисян и др.* М., Наука, 1985.
24. *Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности/А. А. Коноплянцев, Л. С. Язвин, И. В. Гармонов и др.* М., Недра, 1978.
25. *Плотников Н. И.* Гидрогеологические исследования на месторождениях твердых полезных ископаемых. Основы гидрогеологии. Методы гидрогеологических исследований. Новосибирск, Наука, 1984, с. 185—187.
26. *Плотников Н. И.* Поиски и разведка пресных подземных вод. М., Недра, 1985.

27. Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. М., Недра, 1979.

28. Плотников Н. И., Краевский С. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. М., Недра, 1983.

29. Плотников Н. И., Плотников Н. А., Сычев К. И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М., Недра, 1978.

30. Правила технической эксплуатации водопроводов и канализации. М., Стройиздат, 1965.

31. Принципы размещения сети гидрогеологических наблюдательных пунктов в естественных и нарушенных условиях (методические рекомендации). М., Недра, 1974.

32. Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах/З. П. Лебединская, Л. З. Леви, Г. Н. Кашковский и др. М., Недра, 1972.

33. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., ВНИИВОДГЕО, 1983.

34. Сергеев Е. М. Инженерная геология и охрана окружающей среды.— Вестник МГУ. Сер. Геология, 1979, № 6, с. 75—85.

35. Сергеев Е. М. Научно-технический прогресс и охрана окружающей среды.— Земля и вселенная, 1985, № 2, с. 35—41.

36. Фисенко Г. Л., Мироненко В. А. Дренаж карьерных полей. М., Недра, 1972.

37. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
-----------------------	---

Часть I

ОБЩИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Глава 1. Основные задачи в изучении гидрогеологических условий рудных месторождений	4
Глава 2. Основные вопросы гидрогеологии рудных месторождений	10
Классификация основных типов подземных вод	10
Закономерности в условиях водоносности коренных пород	17
Глава 3. Газоносность рудных месторождений	27
Природная газоносность под влиянием дегазации угольных пластов	27
Природная газоносность рудного объекта в районе проявления вулканической деятельности	31
Природная газоносность месторождения под влиянием сложных процессов	34
Глава 4. Обзор способов осушения горных разработок	39
Общие факторы, определяющие выбор способов осушения	39
Схемы осушения горных разработок	42
Осушение Лебединского месторождения	54
Глава 5. О техногенезе и техногенных процессах при эксплуатации рудных месторождений	60
Общие положения	60
Основные понятия и их определения	64
Понятие о техногенных процессах	72
Понятие о техногенезе	76
Глава 6. Геолого-промышленная группировка рудных месторождений	79
Принципы построения геолого-промышленной группировки рудных месторождений	79
Характеристика выделенных групп месторождений и состав комплексных исследований	85

Часть II

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СТАДИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава 7. Комплексные исследования на площади горных разработок	105
Общие замечания, задачи и состав исследований	105
Детальная техногенная (повторная) съемка	107
Детальная съемка подземных горных выработок и карьерных разработок	109
Изучение режима подземных вод и техногенных процессов при подземном способе отработки месторождения	110
Изучение режима подземных вод и техногенных процессов при карьерной отработке рудных месторождений	127
Глава 8. Комплексные исследования при эксплуатации водозаборных сооружений	139
Общие положения и основные задачи исследований	139
Организация наблюдательной сети и состав исследований	143
Охрана подземных вод от загрязнения на водозаборном участке	150

Глава 9. Комплексные исследования на участке эксплуатации хранилищ промстоков	159
Задачи исследований и принципы организации наблюдательной сети . . .	159
Прогнозная оценка условий загрязнения подземных вод	165
Анализ влияния хранения промстоков на загрязнение подземных вод . .	168
Об организации системы мониторинга на горнорудных предприятиях . . .	172
Глава 10. Обработка материалов комплексных исследований	177
Общие задачи и методические приемы их решения	177
Анализ режима водопритоков в горные выработки	186
Уточнение гидрогеологических параметров пласта по данным режимных наблюдений	195
Определение гидрогеологических параметров водоносных пород с по- мощью метода математического моделирования	205
Вероятностно-статистические методы обработки материалов комплексного изучения режима подземных вод	208
Глава 11. Прогнозная оценка общих водопритоков в горные выработки и выбор схем осушения	210
Общие положения и оценка водопритоков гидравлическим методом . . .	210
Выбор рациональных схем осушения горных разработок	222
Оценка эксплуатационных запасов рудничных (шахтных) вод	228
Глава 12. Применение методов математического моделирования для про- гнозной оценки гидрогеологических условий промышленной отработки рудных месторождений	236
Общие положения	236
Этапы исследований	238
Перечень и содержание гидрогеологических материалов, необходимых для моделирования	242

Часть III

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Глава 13. Рудный объект третьей группы	248
Краткая характеристика природных факторов	248
Геологическое строение	250
Гидрогеологические условия месторождения	253
Горнотехнические условия промышленной отработки и схема осушения месторождения	256
Техногенные процессы и их влияние на изменение окружающей среды	264
Глава 14. Особо сложные условия рудного месторождения	267
Природные условия	267
Промышленная отработка месторождения и система защиты горных раз- работок от обводнения поверхностными и подземными водами, а также инженерно-геологических процессов	270
Прогнозная оценка водопритоков в горные выработки	274
Гидрогеологические исследования в период опытно-промышленного освое- ния месторождения	277
Охрана окружающей среды при промышленной отработке рудного место- рождения	281
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	284

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

**Николай Иванович Плотников
Игорь Иванович Рогинец**

**ГИДРОГЕОЛОГИЯ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Редактор издательства **Л. А. Дубкова**
Переплет художника **Е. К. Самойлова**
Художественный редактор **Г. Н. Юрчевская**
Технический редактор **Л. Г. Лаврентьева**
Корректор **Т. М. Столярова**

ИБ № 5918

Сдано в набор 31.07.86. Подписано в печать 06.11.86. Т-23313. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 18,0. Усл. кр.-отт. 18,5. Уч.-изд. л. 20,93. Тираж 2250 экз. Заказ № 555/240—2. Цена 1 р. 40 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6

4755