

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК (556.3+624.131) : 470.5

*И. В. Абатурова, Э. И. Афанасиади, О. Н. Грязнов, О. М. Гуман,
С. Г. Дубейковский, В. П. Новиков, С. В. Палкин, Л. П. Парфенова*

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ ПРИ РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА УРАЛЕ

История промышленного освоения горноскладчатого Урала насчитывает свыше 2,5 веков и связана с открытием и эксплуатацией железорудных, меднорудных, а позднее хромитовых, золоторудных, угольных, редкометалльных и нерудных месторождений. В настоящее время из его недр добывается более 50 видов минерального сырья. Наиболее активно разрабатываются месторождения Среднего, Южного, отчасти Северного Урала в промышленных центрах Свердловской, Челябинской, Пермской и Курганской областей.

Длительная эксплуатация многочисленных месторождений разнообразных полезных ископаемых, их технологический передел, урбанизация территорий обусловили формирование на Урале провинциальной геоэкологической системы с отчетливой поясовой зональностью. Последняя обусловлена минерагенической специализацией и промышленным освоением региональных структур Предуралья на горно-химическое сырье и уголь, синклинозных зон эвгеосинклинальной области на железо, медь, хром, никель, золото, алюминий, антиклинорных зон на редкие металлы, нерудное сырье; наложенных структур восточного склона на уголь и железо. Во всех зонах с той или иной интенсивностью разрабатываются строительные материалы. Оптимальные оценки гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических условий месторождений на стадиях разведки и прогноз их развития при вскрытии полезных ископаемых и эксплуатации горных предприятий имеют принципиальное значение для проектирования наиболее эффективных систем, способов разработки, технологий добычи и переработки минерального сырья.

Основные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале могут быть сформулированы следующим образом: влияние гидрогеологических обстановок на условия разработки месторождений, качество минерального сырья и полноту его извлечения, изменение устойчивости пород в горных выработках; прогноз водопритоков и обустройство эффективных дренажных систем; питьевое и техническое водоснабжение, использование дренажных вод; охрана подземных вод от истощения и загрязнения; влияние геологических усло-

вий на выбор систем и способов разработки месторождений; оценка и прогнозирование техногенной активизации инженерно-геологических процессов и явлений при строительстве и эксплуатации горных предприятий; инженерная петрология метасоматитов; оценка и прогнозирование роли анизотропии инженерно-геологических условий на изменение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород при их вскрытии горными работами; оценка и прогнозирование техногенных геохимических процессов в выработанном пространстве массивов горных пород, отвалах, хвосто- и шламохранилищах, дренажных водах; полнота извлечения и комплексное использование полезных ископаемых (безотходная технология); оценка и прогнозирование загрязнения окружающей среды вследствие разработки полезных ископаемых; проблемы рекультивации.

Рассмотрим эти вопросы на примерах разведки и эксплуатации месторождений разных видов и промышленно-генетических типов минерального сырья, размещенных в различных региональных структурах.

Рассматриваемая территория по современной схеме гидрогеологического районирования размещается на площади четырех крупных бассейнов подземных вод первого порядка: Восточно-Русского и Предуральского артезианских; Большеуральского сложного бассейна корово-блоковых (трещинно-пластово-блоковых) вод; Западно-Сибирского артезианского бассейна. В инженерно-геологическом отношении по [3] в пределах Большого (геосинклинально-складчатого) Урала выделены Западно-Уральский, Центрально-Уральский, Восточно-Уральский, Магнитогорский и Урало-Тобольский регионы, соответствующие главным региональным структурам I и II порядков.

Указанные региональные структуры имеют различное геолого-тектоническое строение, отличаются геоморфологическим своеобразием, орографическими и гидрографическими условиями, а также степенью гидрогеологической раскрытости слагающих их водоносных горизонтов и комплексов. В сумме эти отличия природной обстановки создают в каждом из бассейнов своеобразные гидрогеологические условия формирования ресурсов и запасов подземных вод, инженерно-геологические и гидрогеологические условия вскрытия и обработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Для Восточно-Русского и Предуральского артезианских бассейнов характерны платформенные условия формирования подземных вод в мощной (до 2 км) осадочной толще палеозоя, этажное расположение водоносных горизонтов и комплексов, четкая вертикальная гидродинамическая и гидрохимическая зональность. Верхней части разреза до глубин 150—200 м свойственны: фациальная невыдержанность толщ; зависимость водоносности пород от литолого-структурных и геоморфологических условий проявления и интенсивности неотектонических движений; увеличение минерализации подземных вод с глубиной; наличие локальных разгрузок высокоминерализованных вод глубоких горизонтов. В пределах открытых гидрогеологических структур Пермско-Башкирского свода кунгурско-артинские гипс-ангидритовые и карбонатные осадки характеризуются сильной закарстованностью. Этим обусловлен интенсивный водообмен, высокая, но неравномерная водообильность и пестрый гидрохимический состав подземных вод. Наряду с пресными гидрокарбонатными водами значительное развитие получают воды с высоким содержанием сульфатов и повышенной общей жесткостью.

В Уральской системе бассейнов распространены трещинные, трещино-жильные и трещинно-карстовые безнапорные водоносные горизонты и комплексы, воды которых, как правило, формируются в границах поверхностных водосборов, образуя небольшие бассейны стока. Водоносность связана с двумя видами трещиноватости. Первый представляет

собой региональную зону трещиноватости пород в коре выветривания. Мощность ее варьирует от 30—50 м в интрузивных и метаморфических образованиях до 80—100 м, редко более — в карбонатных породах. По этой зоне в естественных условиях осуществляется движение подземного стока к зонам разгрузки, совпадающим на местности, как правило, с долинами рек и эрозионными врезами. Второй вид трещиноватости, выступающий обычно в виде объекта поиска, разведки и строительства водозаборов подземных вод, представляют линейные зоны тектонических нарушений, контактов разнородных пород, жильных полей. Мощность зон трещиноватости достигает 150—200 и более метров, по протяжению они часто прерывисты, нередко выражены в рельефе и сопровождаются развитием мощных линейных кор выветривания. Интенсивный водообмен определяет развитие в Уральской зоне складчатости пресных и ультрапресных вод. Вертикальная гидрохимическая зональность, как правило, отсутствует, а по площади проявляется в соответствии со сменой климатических и ландшафтных зон, литологического состава водовмещающих пород. В Западно-Уральской зоне линейной складчатости она нарушается за счет подтока соленых и солоноватых вод Предуральского артезианского бассейна.

Западная окраина Западно-Сибирского артезианского бассейна по гидрогеологическим условиям представляет собой двухэтажную структуру. Верхний этаж сложен морскими и континентальными отложениями верхнего мезозоя и палеогена. Для него характерны платформенные условия формирования подземных вод водоносных горизонтов и комплексов в осадках олигоцен-четвертичного возраста, палеогена и верхнего мела. Нижний этаж, образующий фундамент бассейна, сложен дислоцированными палеозойскими и нижнемезозойскими породами, представляя восточную, погребенную часть Уральской геосинклинали. Для бассейна в целом свойственна неравномерная водообильность пород основных водоносных комплексов, сложные условия гидравлической взаимосвязи их между собой в единой водонапорной системе артезианского бассейна, сложные гидрохимические условия.

Природные особенности региональных структур определяют своеобразие гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. Развиваемый нами генетический подход к изучению и оценке месторождений позволил установить основные закономерности формирования гидрогеологических и инженерно-геологических условий ряда крупных месторождений Урала — Верхнекамского калийных солей, Светлинского золоторудного, бокситов СУБРа, Баженовского хризотил-асбеста, Высокогорского, Осокино-Александровского, Гороблагодатского и Серовского железорудных.

История тектонического развития горно-складчатой системы Большого Урала от архейско-раннепротерозойских реликтовых и в значительной степени переработанных блоков фундамента, через рифейды западного склона и уралиды восточного склона до позднепалеозойской стабилизации подвижных зон и позднепалеозойской — мезозойской тектоно-магматической активизации консолидированных структур обусловили линейно-блоковую мозаику главных тектонических подразделений I и II порядков. Разнознаковые и разновеликие амплитуды перемещений земной коры в геологической истории вызвали распределение и перераспределение напряжений в массивах скальных пород, интенсивные процессы мезокайнозойского выветривания и денудации определили развитие элювиальных образований, покровно-осадочного чехла терригенных отложений, мощное проявление карста и других геодинамических процессов и явлений, продолжающихся и в настоящее время.

Массивы магматических месторождений сложены прочными скальными породами при незначительном развитии элювиально-делювиаль-

ных образований. Главный негативный фактор, снижающий устойчивость массивов,— их трещиноватость. Подземные воды не оказывают существенного влияния на изменение свойств горных пород и условий обработки месторождений.

Инженерно-геологические особенности контактово-метасоматических (скарновых) месторождений определяются сложностью («поликомпонентностью») их геологического строения — развитием вулканогенно-осадочных (терригенных, терригенно-карбонатных, карбонатных) слоистых пород, в различной степени закарстованных, прорывающих их интрузивных комплексов основного, субщелочного, кислого состава, даек и жил, разномасштабных разломов, рудных скарнов, наличием линейных и площадных кор выветривания, элювиально-делювиальных образований значительной мощности, умеренной обводненностью по сети разрывов и трещин, карстовых полостей. Такая ситуация вызывает осложнения в устойчивости бортов карьеров, напряженное состояние и удароопасные обстановки в подземных горных выработках, особенно на больших глубинах.

Метаморфогенные месторождения отличаются линейно-блоковой анизотропией геологических и инженерно-геологических свойств массивов, регламентированной сланцеватостью, разгнейсованностью, дислоцированностью, трещиноватостью, минеральным составом горных пород, развитием разломов, метасоматических процессов. Им также свойственны коры выветривания и элювиально-делювиальные образования.

Гидротермальные месторождения, развиваясь в массивах скальных горных пород различного состава и происхождения (интрузивных, вулканогенных, осадочных, метаморфических), как правило, в значительной мере тектонически нарушенных и метасоматически переработанных, характеризуются сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. В зоне гипергенеза формируются мощные коры выветривания линейного и площадного типов, элювиально-делювиальные комплексы различной мощности.

Осадочным месторождениям твердых полезных ископаемых различного генезиса и месторождениям коры выветривания свойственны сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Одним из ведущих региональных факторов инженерно-геологических условий Урала является развитие элювиальных грунтов, слагающих верхнюю часть массивов большинства месторождений.

Анализ геологических обстановок формирования месторождений различных генетических типов позволяет выделять простую (моногенную) и сложную (полигенную) анизотропию инженерно- и гидрогеологических условий массивов горных пород. Первая обусловлена одним-двумя факторами (слоистость, карст, состав пород, трещиноватость, метасоматическая зональность, обводненность и др.), вторая вызвана проявлением нескольких факторов. В инженерно-геологическом отношении отраженном анизотропии служит неоднородное распределение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород, определяющего условия разработки месторождений.

В Предуральском краевом прогибе особое место занимает Верхнекамское месторождение калийных солей, представляющее собой многопластовую залежь в верхней части мощной толщи галогенных отложений кунгурского яруса. Месторождение вытянуто в меридиональном направлении на 140 км при максимальной ширине 42 км. Площадь развития калийных солей — 3750 км². Месторождение подстилается слоистой толщей каменной соли мощностью около 300 м. В гидрогеологическом отношении она является надежным водупором. Калийная залежь подразделяется на нижнюю сильвинитовую и верхнюю сильвинито-карналитовую зоны. Над толщей солей залегают породы уфимского яруса

верхней перми (мергели и глины с прослоями гипса, ангидрита и каменной соли, терригенные пестроцветные отложения), венчающие разрез верхнего регионально развитый водоупор. Надсоляные отложения представляют собой регионально развитый водоносный комплекс гидравлически связанных между собой аллювиального, терригенно-карбонатного и мергельного водоносных горизонтов. Состав подземных вод изменяется от пресных гидрокарбонатно-кальциевых с минерализацией 0,2—0,3 (до 0,5 г/дм³) в зоне активного водообмена, совпадающей с местным эрозийным врезом, до концентрированных (300 и более г/дм³) хлор-натриевых рассолов в зоне затрудненного водообмена над «соляным зеркалом» в соляно-мергельной толще.

Часть водоупорных пород, включающая соляные слои над продуктивными пластами калийных солей и переходную зону соляно-мергельной толщи, получила название водозащитной толщи (ВЗТ). Ее мощность на месторождении увеличивается от первых десятков метров на куполах до 170—180 м в прогибах соляных структур. Минимально допустимая мощность ВЗТ при отработке продуктивных пластов принята на месторождении равной 60 м.

Нарушение сплошности ВЗТ в любой точке месторождения неизбежно приведет к затоплению горных выработок. Так случилось при аварии в 1986 г. на Балахонцевском участке, отрабатываемом Третьим Березниковским рудоуправлением. Объемы затопленного пространства составили около 15 млн. м³ при величине водопритока на заключительном этапе аварии (через 2—3 месяца после ее начала) до 10 тыс. м³/ч. Позднее в результате взрыва метана, накопившегося в карстовой полости над местом прорыва подземных вод, произошло разрушение массива с образованием на поверхности провальной воронки площадью 2 га и глубиной до зеркала подземных вод 45 м. В качестве основной причины поступления рассола в горные выработки явился процесс образования техногенных трещин расслоения в ВЗТ. В результате использования системы с податливыми целиками произошло ослабление подработанного массива в целом, а за счет порядка отработки шахтного поля от участков с минимальным числом сольсодержащих ритмов в соляномергельной толще к площадям с большим их количеством — уменьшение мощности самой ВЗТ над аварийным участком на 40 м.

Таким образом, важнейшим фактором горно-геологических условий отработки Верхнекамского месторождения являются его гидрогеологические особенности. С учетом этого фактора успешная отработка месторождения в целом возможна только при исключении деформаций в налегающей толще пород, приводящих к нарушению сплошности ВЗТ, что может быть достигнуто при сохранении полноты выемки полезного ископаемого только закладкой выработанного пространства твердеющими смесями и порядком ведения очистных работ, учитывающим особенности геологического строения водоупора.

В результате строительства и работы калийных предприятий в рассматриваемом промрайне сложилась сложная экологическая обстановка: изымаются значительные площади земель, происходит засоление почвы, поверхностных и подземных вод, над отработанными пространствами деформируется земная поверхность, загрязняется атмосферный воздух. Оздоровление окружающей среды промрайона возможно путем внедрения в технологию добычи и переработки солей комплекса мер: использование в качестве твердеющей закладки выработанного пространства отходов калийного производства, использование попутно извлекаемой каменной соли, переход к оборотной схеме водоснабжения при получении конечного продукта и избавление от избыточных технологических рассолов путем их выпаривания или использования при законтурном обводнении рядом расположенных нефтяных залежей.

В пределах горноскладчатого Урала месторождения твердых полезных ископаемых приурочены преимущественно к комплексам в различной степени трещиноватых скальных пород. Осложняющими факторами их гидрогеологических и инженерно-геологических условий являются обводненные коры выветривания линейного типа, приуроченные к зонам тектонических нарушений, и интенсивно закарстованные массивы карбонатных пород. Влияние этих факторов на условия отработки рассмотрим на примерах Светлинского месторождения золота, бокситов СУБРа, Баженовского месторождения хризотил-асбеста и Высокогорского скарново-магнетитового месторождения.

Геологическая позиция Светлинского месторождения определяется его приуроченностью к одноименной грабен-синклинали раннекарбонного заложения, которая фиксирует шовную зону сопряжения Арамилско-Сухтелинского мегасинклинория и Челябинско-Суундукского мегантиклинория Восточно-Уральского поднятия. Это определяет весьма напряженную тектоническую обстановку в районе месторождения. В геоморфологическом отношении оно находится в северной части практически замкнутой Светлинской депрессии с площадью водосбора 20 км². В геологическом строении депрессии принимают участие гнейсо-сланцевая толща ордовик-нижнесилурийского возраста, наложенные углесто-терригенно-карбонатная и вулканогенно-терригенная толщи визейского возраста (на западе) и терригенно-вулканогенная толща нижнего — верхнего силура (на востоке). На месторождении установлена такая последовательность эпигенетических процессов: 1) березитизация-лиственнитизация; 2) сиалический плутонометаморфизм эпидот-амфиболитовой фации с образованием кварц-биотит-амфиболовых метасоматитов; 3) грейзенизация; 4) дислокационный метаморфизм уровня зеленосланцевой фации, обусловивший рассланцевание ранее возникших эпигенетических пород; 5) гидротермальная аргиллизация с сопряженным золотым оруденением в зонах прожилкового окварцевания и метасоматических кварцевых жилах; 6) гипергенез с формированием кор химического выветривания [6]. Максимальная мощность кор выветривания (до 400 м) отмечается в контактовых частях мраморов и узлах пересечения тектонических нарушений и пространственно совпадает с промышленным оруденением. Коры выветривания обводнены.

На месторождении получили развитие водоносные горизонты в зонах трещиноватости пород коренного субстрата — горизонт зон трещиноватости некарстующихся пород и трещинно-карстовый водоносный горизонт. Основную роль в обводнении месторождения будет играть трещинно-карстовый горизонт. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 0,4—0,7 г/дм³, качество их соответствует требованиям ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая» по всем показателям.

Технико-экономическими расчетами доказана рентабельная отработка Светлинского месторождения открытым способом до глубины 315 м при условии наклона бортов будущего карьера в корях выветривания под углом не менее 18°, что соответствует устойчивости предварительно осушенных глинистых пород. В этой связи обводненность месторождения выступает в качестве основного фактора инженерно-геологических условий его обработки.

Замкнутый характер Светлинской депрессии упрощает задачу прогноза общей величины водопритока методом аналогии по величине эксплуатационного модуля, который в рассматриваемых природных условиях обосновывается величиной 1,8 дм³/с км². Однако необходимость осушения значительного объема естественных запасов подземных вод в корях выветривания при вскрытии месторождения в строительный период, контроля за эффективностью водопонижения при осушении

призмы возможного оползания в бортах карьера, сложенных глинистыми корами выветривания, и обоснования гарантированной работы будущего водозабора хозяйственно-питьевого назначения потребовала увязки величины водоотбора с распределением напоров подземных вод по площади формирования депрессионной воронки. Эта работа потребовала привлечения гидродинамического метода прогноза на основе математического моделирования. Несмотря на значительный объем гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, выполненных на месторождении к настоящему времени, все еще сложной остается задача обоснования опережающего водопонижения глубже 120—130 м (через 20—25 лет после начала его отработки) как в части вскрытия на глубинах 130—350 м закарстованных трещин с достаточной водообильностью, так и в части прогноза поведения на этих глубинах депрессионной воронки. Решение этих вопросов требует целенаправленного сбора и анализа информации о перераспределении напоров подземных вод в процессе водопонижения с увязкой ее в рамках постоянно действующей гидрогеомиграционной модели (ПДГМ), описывающей процессы движения, истощения и загрязнения подземных вод.

Месторождения бокситов СУБРа контролируются размытой, закарстованной поверхностью известняков нижнего девона, залегающей в основании терригенно-карбонатного разреза эйфеля. Пластообразные залежи бокситов падают на восток под углами 25—45°. Рудный горизонт включает нижний подгоризонт красных и яшмовидных бокситов и верхний подгоризонт пестроцветных пиритизированных бокситов. Бокситоносная мульда нарушена сбросами и взбросами северо-восточного — субширотного простирания с амплитудами перемещений до 200—400 м.

Главными природными факторами, определяющими инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений, являются высокая закарстованность и обводненность комплексов рудоносных горных пород. Действующая система осушения (дренажные узлы, бетонные каналы) привела к формированию техногенной зоны аэрации глубиной до 500 м и объемом в 22 км³. Откачка подземных вод вызвала резкое оживление карстово-суффозионных процессов. За период разработки месторождений СУБРа (с 1942 г.) средний коэффициент закарстованности на площади 186 кв. км увеличился с 27 до 32 карстовых форм на 1 кв. км при аномальных отклонениях до 300 форм на 1 кв. км [4]. Система водоотлива СУБРа откачивает в час до 18—23 тыс. м³ воды.

В условиях естественного состояния массивов карбонатных и терригенно-карбонатных пород распределение полей напряжений обусловлено структурой массива, их закарстованностью, обводненностью и влиянием приразломных динамических напряжений. Одним из показателей повышенной напряженности может служить дискование керна разведочных скважин. Подземная разработка месторождений и глубокое водопонижение сопровождаются перераспределением полей напряжений, что служит причиной горных ударов. В бокситоносных карбонатных породах СУБРа горные удары происходят с глубины 300—350 м. При этом подмечено, что динамические разгрузки напряжений концентрируются на участках гидрогеологических структур, где напоры снижены до минимальных величин. В то же время в обводненных горных породах (выработках) горные удары не зафиксированы [4].

Баженовское месторождение хризотил-асбеста приурочено к одноименному массиву силурийских гипербазитов и связано с наложением постмагматических процессов средне-позднекаменноугольного верхисетского комплекса малокалиевых гранитов. Образование хризотил-асбеста вызвано гидротермально-метасоматической серпентинизацией ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой ассоциации (дуни-

тов, гарцбургитов-перидотитов). Широким распространением пользуются разломы: протяженные крутопадающие меридионального простирания, субширотные и диагональные, пологие поперечные зоны трещиноватости и рассланцевания. На месторождении выделено 36 крупных залежей. Их длина по простиранию варьирует от 20 м до 4,5 км при изменении мощности от 40 м до 1,4 км. На глубину залежи прослеживаются на протяжении десятков-сотен метров, а в отдельных случаях до 1100 м. В плане форма залежей неправильная, эллипсовидная или линзообразная; в вертикальном разрезе — трубо- или чашеобразная (для эродированных тел). Залежи характеризуются зональным строением. В центре располагается ядро неасбестоносных серпентинизированных пироксеновых дунитов или перидотитов, при их отсутствии — перидотиты с отороченными жилами асбеста. От ядра к периферии прослеживается смена типов асбестоносности: отороченные жилы, крупная и мелкая сетка, мелкопрожилок, серпентиниты с просечками асбеста. Далее следуют рассланцованные серпентиниты и дайки гранитоидов. Последние фиксируют зоны рудоконтролирующих разломов. Встречаются залежи с асбестоносностью одного-двух типов [2].

Особенности геологического строения месторождения определили анизотропию его инженерно-геологических условий. Главными факторами явились гидротермально-метасоматическая зональность и структурная нарушенность массива гипербазитов [1]. Дуниты и перидотиты характеризуются высокими значениями прочности на сжатие ($R_c = 138,8$ МПа) и растяжение ($R_p = 20,0$ МПа). Угол внутреннего трения $\varphi = 44^\circ$ при значении удельного сцепления $C = 16,0$ МПа. Процесс серпентинизации снижает механическую прочность исходных пород: для апоперидотитовых серпентинитов ядер комплексов $R_c = 103,6$ МПа, $\varphi = 43^\circ$, лизардитовым серпентинитам свойственны $R_c = 92,8$ МПа, а у хризотилловых серпентинитов асбестоносных зон $R_c = 87,7$ МПа при $\varphi = 42^\circ$. На фоне гидротермально-метасоматической зональности инженерно-геологические условия массива коррелируются с интенсивностью тектонической проработки горных пород — развитием разнонаправленных зон трещиноватости, дробления, рассланцевания, смятия, милонитизации, даек гранитоидов, зон оталькования и карбонатизации. Поверхностный элювий, техногенно-активизированные процессы выветривания способствуют развитию склоновых процессов (осыпей, оползней, вывалов, обрушений), осложняющих разработку месторождения открытым способом.

Выявленные закономерности позволили создать модель инженерно-геологических условий и на ее основе выполнить инженерно-геологическое районирование Баженовского месторождения, используемое при разработке проектов добычных работ и их реализации.

Высокогорское скарново-магнетитовое месторождение локализовано в зоне юго-восточного секущего контакта Тагильского диорит-сиенитового массива с моноклинально залегающими вулканогенно-осадочными породами (андезито-базальтовыми порфиритами, их туфами, известняками) силурийского возраста. Месторождение рассечено многочисленными разнонаправленными дорудными и пострудными дайками и осложнено зонами крупных крутопадающих разломов. Разведочными работами выделено 18 рудных тел, сосредоточенных в Западной и Восточной скарново-рудных зонах [5]. Верхняя часть месторождения (до глубины 150 м) характеризуется развитием элювия и коры выветривания, а в карбонатных породах — карста.

Сложному геологическому строению месторождения адекватна полигенная анизотропия его инженерно-геологических условий. Разработка рудных залежей открытым способом и на небольших глубинах подземными работами связана с проблемой выветрелости и закарстованно-

сти горных пород. Обработка глубоких горизонтов шахтным способом во многом зависит от напряженно-деформированного состояния скального массива. Оценка ведущих инженерно-геологических факторов в этих условиях традиционными методами затруднена. Положительно зарекомендовал себя метод инженерной сейсмометрии, позволяющий получать интегральные характеристики массива горных пород в законтурном пространстве.

При вскрытии массива скальных пород горными выработками проявляется естественная (природная) и техногенная неоднородность механических свойств горных пород как вдоль оси выработок, так и на удалении от них в глубь массива. Изменение напряженного состояния вдоль выработок вызвано разгрузкой напряжений по тектоническим нарушениям, перераспределением напряжений в отдельных блоках в зависимости от петрографических особенностей вскрываемых пород. В законтурном пространстве массива изменение состояния горных пород связано с развитием зон дезинтеграции (нарушения сплошности), возникающих в результате разгрузки естественных напряжений. На участках послыдного преобразования упругих деформаций в массиве возможно прогнозировать области разгрузки, а в местах с повышенным значением модуля упругости ($9-11 \cdot 10^4$ МПа) — области концентрации напряжений. При пересечении разломов обнаруживается различное напряженное состояние пород относительно плоскости нарушения: уменьшения до $3 \cdot 10^4$ МПа висячем боку при повышенных (до $8 \cdot 10^4$ МПа) значениях в лежащем боку сместителя.

Инженерно-геологическое районирование скальных массивов возможно осуществить на основе распределения упругих деформаций. Модуль упругости в этом случае может служить критерием оценки напряженного состояния, упругих свойств, трещиноватости горных пород и др. На Высокогорском месторождении установлены 3 класса горных пород в скальных массивах: 1) устойчивые ($E=5-7 \cdot 10^4$ МПа); 2) относительно устойчивые ($E=3-5 \cdot 10^4$ МПа) и 3) неустойчивые ($E < 3 \cdot 10^4$ МПа). Эта информация является полезной при планировании перспективного развития горных работ.

Наиболее сложным в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении типом месторождений осадочного генезиса в покровных мезозойских отложениях чехла западной окраины Западно-Сибирской платформы является Серовское месторождение железных руд. Замарайская депрессия, где находится это месторождение, представляет собой относительно небольшой бассейн субнапорных вод, приуроченный к мезокайнозойской впадине горноскладчатого сооружения. В осадочном чехле депрессии распространены четвертичный, нижнеэоценовый, меловой и палеозойский субнапорные и безнапорные водоносные горизонты и комплексы, образующие в совокупности единую водонапорную систему. Замарайский бассейн служит базисом стока как для безнапорных вод окружающих массивов горноскладчатого Урала, так и для напорных вод тектонических разломов фундамента депрессии.

Месторождение планируется вскрыть и обработать последовательно тремя карьерами. Продуктивная толща бобово-конгломератовых железных руд залегает на глубине до 130 м в основании сложно построенной слоистой системы водоносных и водоупорных горизонтов (комплексов). Степень изученности месторождения на участке карьера № 1 соответствует стадии предварительной разведки. Устойчивость горных пород низкая, что усугубляется высокими гидростатическими напорами в отдельных элементах системы и пывунным поведением песчаных разностей мелового водоносного горизонта. Фактор устойчивости бортов будущего карьера и его уступов предопределяет необходимость вскрытия продуктивной части разреза под обязательной защитой опережаю-

щего водопонижения. Разобщенность нижнеэоценового горизонта и мелового комплекса обуславливает автономность дренажных систем в каждом из них. При создании понижений в десятки метров депрессионная воронка разовьется до границ Замарайской депрессии, где водоносные горизонты связаны с современной речной сетью.

По результатам математического моделирования установлена сложная динамика водопритоков в карьер 1-й очереди площадью 7 км² со среднегодовалой величиной около 3200 м³/ч и обоснована система расположения водопонижительных скважин: 124 — на нижнеэоценовый водоносный горизонт при средней глубине 45 м; 15 — на меловой и 10 — палеозойский водоносные комплексы при средних глубинах соответственно 140 и 200 м. Установлена возможность эксплуатации Замарайского водозабора г. Серова с производительностью 9 тыс. м³/сутки вплоть до начала отработки карьера 3-й очереди, то есть по крайней мере еще на 60—70 лет. Сокращение речного стока в сумме достигнет 930 м³/ч.

Анализ материалов и выполненного моделирования определили направление дальнейших гидрогеологических и инженерно-геологических работ на стадии детальной разведки месторождения по уточнению геофильтрационной модели, а также получению исходных данных для прогноза деформации земной поверхности при снятии гидростатического взвешивания пород при водопонижении и по оценке эксплуатационных запасов дренажных вод как попутно извлекаемого полезного ископаемого.

Проблема охраны геологической среды в промышленных районах Среднего Урала чрезвычайно актуальна. Особенно велико негативное воздействие на окружающую среду техногенных ландшафтов, возникающих при разработке медных месторождений. В силу своих геолого-геохимических особенностей они служат поставщиком активных загрязнителей природной среды халькофильными элементами, многие из которых высокотоксичны (селен, ртуть, кадмий, цинк, медь, никель, кобальт, телур, мышьяк, сурьма). Основными промышленными источниками загрязнения являются отвалы, хвосто- и шламохранилища, шахтный водоотлив.

Природные воды — наиболее динамичный и легко загрязняемый элемент геологической среды. Исследования источников их загрязнения и способов защиты на эксплуатируемых месторождениях были выполнены на Волковском медно-железо-ванадиевом месторождении. Мониторинг включал организованную сеть скважин и постов регулярных режимных наблюдений и опробования. В результате установлено, что основным источником загрязнения поверхностных и подземных вод служат отвалы окисленных и забалансовых руд, продуцирующие высокотоксичные кислые рассолы. Природная защищенность подземных вод на площади месторождения крайне неоднородная и контролируется мощностью, составом и характером распространения делювиальных отложений.

В заключение, обобщая рассмотренные проблемы, сформулируем основные направления дальнейших исследований при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых: 1) обеспечение питьевого и технического водоснабжения предприятий, городов и поселков; 2) разработка способов и методов защиты подземных вод от загрязнения и истощения, развитие мониторинга; 3) изучение и прогнозирование гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических условий разработки месторождений разных видов и промышленно-генетических типов минерального сырья в различных региональных структурах; 4) изучение закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массивов различного генезиса и активизации геодинамических процессов при вскрытии массивов в ходе разработ-

ки месторождений; 5) изучение инженерной петрологии метасоматитов; 6) широкое внедрение в гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях методов математического моделирования на персональных ЭВМ; 7) активное внедрение в практику инженерно-геологических исследований геофизических методов; 8) проведение среднемасштабного гидрогеологического, инженерно-геологического и геоэкологического районирования территории горноскладчатого Урала, в первую очередь районов интенсивного промышленного освоения; 9) детальное гидрогеологическое, инженерно-геологическое и геоэкологическое картирование промышленных центров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А. Ф., Дубейковский С. Г. Особенности инженерно-геологических условий асбестовых месторождений Урала // Проблемы инженерной геологии в связи с промышленно-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых: Тезисы V Всесоюзной конференции.— Свердловск, 1984.— Т. 2.— С. 82—86.
2. Баженовское месторождение хризотил-асбеста / Под. ред. К. К. Золоева, Б. А. Попова.— М.: Недра, 1985.—271 с.
3. Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая область.— М.: Недра, 1990.—408 с.
4. Плотников И. И. Гидрогеологические проблемы разработки бокситовых месторождений Урала // Сов. геология, 1985.— № 3.— С. 113—120.
5. Подлесский К. В. Скарны и околорудные метасоматиты железорудных месторождений Урала и Кавказа.— М.: Наука, 1987.—204 с.
6. Савельева К. П., Грязнов О. Н., Костромин Д. А. Критерии различия гидротермальных метасоматитов аргиллизитовой формации и химической коры выветривания на одном из золоторудных месторождений // Новые данные по золоторудным месторождениям Урала.— Свердловск, 1990.— С. 113—118.

УДК 556.3 : 550.812 (470.5)

С. В. Палкин, С. С. Палкин

К ВОПРОСУ О РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УРАЛЕ

Среди месторождений полезных ископаемых Уральского региона (Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская области) особое место занимают месторождения подземных вод, особенно питьевого назначения. Разведка таких месторождений для водоснабжения населения традиционно занимает важное место среди проблем прикладной гидрогеологии.

Систематические работы в рассматриваемом направлении ведутся уральскими гидрогеологами почти полвека. В 1951 году впервые в нашем регионе были официально утверждены в ГКЗ эксплуатационные запасы подземных вод (для городов Асбеста и Пласта). С тех пор разведано 250 месторождений с запасами более 2500 тыс. м³/сутки (см. таблицу). Результаты выполненных разведочных работ и региональной оценки эксплуатационных запасов показывают, что подземные воды могут и должны играть важную роль в системе водоснабжения наших городов, поселков и предприятий. Правда, за счет их ресурсов в большинстве случаев может быть обеспечена только часть водопотребления, особенно перспективного. Поэтому их использование должно планироваться в комплексе с поверхностными водами. Исключение составляют такие города, например, в Свердловской области, как Ивдель, Североуральск, Карпинск, Краснотурьинск, Волчанск, Серов, Михайловск,