

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ



ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

КУРС ЛЕКЦИЙ

Д. геол.-минерал. наук Высоцкий Э.А.
Аспирант Кутырло В.Э.



ВВЕДЕНИЕ

Большинство экономистов в СНГ в настоящее время относит геологоразведочные работы к сфере материального производства, хотя в результате их проведения непосредственно материальных ценностей не создается. Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых — один из этапов подготовки горнодобывающего производства, подобно проектированию и строительству горного предприятия. Труд геологов реализуется в ценности минерального сырья, добываемого из открытых и разведанных ими месторождений полезных ископаемых. Следует помнить, что научный анализ геологических фактов и наблюдений, их систематика и обобщение, построение геологических прогнозов являются обязательными и важнейшими элементами геологоразведочного производства. Производственно-технические и научные задачи в геологоразведочном производстве органически сливаются. Научно-производственное объединение — организационная форма, отвечающая самой сущности геологоразведочных работ.

Для лучшего понимания предмета поисков и разведки как научной дисциплины и ее места среди других геологических наук рассмотрим требования, которые предъявляет к поискам и разведке народное хозяйство.

Задача поисков состоит в нахождении промышленного месторождения полезного ископаемого. Для успешного планомерного научно обоснованного решения этой задачи необходимо:

- а) знать закономерности (факторы), контролирующие размещение месторождений в земной коре (поисковые предпосылки);
- б) изучить поисковые признаки месторождений в различных условиях;
- в) разработать комплекс эффективных поисковых методов и уточнить условия применения их в соответствии с поисковыми признаками и природными условиями района поисков;
- г) дать обоснованную оценку промышленных перспектив месторождения по данным поисковых работ и своевременно забраковать непромышленные минеральные проявления.

Для выбора рациональных способов вскрытия и систем разработки месторождения, успешного строительства и эксплуатации горнорудного предприятия, а также для наиболее полного и экономически эффективного использования минерального сырья в народном хозяйстве необходимо иметь о месторождении и полезном ископаемом ряд конкретных сведений геологического, горнотехнического, технологического и экономического характера. К ним относятся следующие:

- 1) форма и размеры залежей полезного ископаемого по простиранию, падению и мощности;
- 2) элементы и глубина залегания тел полезного ископаемого и взаимоотношения между ними в пространстве;
- 3) внутреннее строение залежей полезного ископаемого;
- 4) вещественный состав и качество полезного ископаемого, включая его технологические и технические свойства;

- 5) состав пород, вмещающих залежи полезного ископаемого, и их горнотехнические особенности (плотность, пористость, устойчивость и др.);
- 6) гидрогеологические условия месторождения (степень обводненности участка и т. п.);
- 7) горнотехнические условия вскрытия и отработки месторождения (крепость полезного ископаемого и вмещающих пород, объемная масса, коэффициент разрыхления, газовый и термический режим месторождения).

Получение этих данных возможно в результате соответствующих прямых наблюдений, замеров, анализов и испытаний образцов пород и проб полезного ископаемого. Однако дело осложняется тем, что за очень редкими исключениями в природе отсутствуют месторождения, целиком доступные для наблюдений, и нет однородных месторождений, т. е. таких, где наблюдения, замеры и испытания в одной точке или сечении можно распространить на все месторождение в целом. Для промышленности же необходимы перечисленные выше данные не по отдельным точкам, а по всему месторождению в целом. Кроме того, необходимо знать не только средние значения показателей, но и характер их изменчивости по месторождению.

Одна из основных научных задач разведки — интерполяция и экстраполяция геологических показателей, полученных по отдельным точкам наблюдения, на все месторождение или на определенную его часть. Это является задачей прогноза (предвидения) изменения геологических показателей. Для более точного соответствия построений и предположений разведчика реальной изменчивости геологических показателей такой прогноз должен быть построен на научной основе.

Поэтому первая задача разведки как научной дисциплины заключается во всестороннем изучении месторождений полезных ископаемых в целях выявления закономерностей изменчивости их строения, состава и свойств полезного ископаемого и вмещающих пород.

Научное обоснование разведочных прогнозов и их достоверность зависят от числа точек наблюдений и их пространственного размещения. При недостаточном числе естественных точек наблюдений (обнажений) и необходимости проходки буровых и горных выработок первостепенное значение приобретает выбор места заложения и последовательность их проходки. Очевидно, что достоверность получаемых данных и эффективность разведочных работ будут тем выше, чем в большей степени число и пространственное размещение выработок будут соответствовать природе изменчивости месторождения. Для обоснованной интерполяции и экстраполяции результатов наблюдений по разведочным точкам решающее значение имеют данные геологических съемок, геофизических и геохимических методов разведки. Все эти работы должны проводиться в комплексе с разведочными выработками, составляя единую разведочную систему.

Таким образом, определяется вторая научная задача разведки — разработка разведочных систем, наиболее соответствующих природным особенностям месторождений полезных ископаемых, отвечающих условиям наиболее эффективного (быстрого и дешевого) ведения разведочных работ и получения наиболее достоверных данных.

На практике и первая разведочная задача (прогноз изменчивости геолого-промышленных параметров месторождений по данным геологоразведочных наблюдений), и вторая задача (разработка систем геологоразведочных работ в соответствии с изменчивостью геологических показателей) решаются одновременно.

Следует учитывать еще одну особенность разведки: вначале знания о месторождении недостаточны, прогнозы неопределенны; в ходе разведки уточняются, иногда перестраиваются прогнозы, а затем изменяется система дальнейшей разведки. В связи с этим можно считать, что указанные основные задачи научной дисциплины о разведке месторождений полезных ископаемых тесно взаимосвязаны.

Сущность рассматриваемой дисциплины можно определить следующим образом.

Предмет — промышленные месторождения полезных ископаемых.

Задачи: а) прогноз размещения месторождений в земной коре; б) выявление конкретных промышленных месторождений; в) прогноз изменчивости геолого-промышленных показателей месторождений; г) разработка рациональных систем разведки в соответствии с изменчивостью геологических показателей.

Цель — эффективное удовлетворение практических требований промышленности и всего народного хозяйства по созданию надежно изученной минеральной сырьевой базы.

Основным методом исследования является обычный в геологических науках метод логического анализа явлений в их исторической последовательности и воссоздание, таким образом, условий и истории процессов, определивших эти явления. Вспомогательными служат другие методы моделирования месторождений: графические, математические, экспериментальные. В таком понимании поиски и разведка — раздел (заключительная часть) учения о геологии месторождений полезных ископаемых.

Накопление навыков в поисках и в какой-то мере в разведке полезных ископаемых началось в глубокой древности, с тех пор как человек стал сознательно использовать некоторые минералы и породы, а затем научился их обрабатывать и выплавлять металлы и сплавы. С этой точки зрения поиски и разведка — наиболее древняя отрасль геологии. В дальнейшем умение находить и определять пригодность полезного ископаемого для добычи и использования развивалось вплоть до наших дней в тесной связи с развитием горного и горнозаводского дела.

Важное значение в развитии теоретических основ новой дисциплины имело организационное объединение геологических исследований и геологической съемки с поисками и разведкой в единой геологической службе страны.

Становление рассматриваемой дисциплины нашло отражение в ряде опубликованных капитальных учебных руководств: И. С. Васильева (1929 г.), С. В. Кумпана, И. С. Васильева, Е. О. Погребницкого (1934, 1937 гг.), Н. В. Барышева (1934, 1937 гг.), В. М. Крейтера (1940 г.) и др.

В 1924 г. в Петроградском горном институте был прочитан первый в СНГ курс разведочного дела горным инженером К. П. Марковым. С 1927 г. этот курс систематически здесь начал читать инженер-геолог И. С. Васильев. В 1930 г. в Ленинградском горном институте известным специалистом в области прикладной геологии В. В. Котульским была организована кафедра «Разведочное дело», которую затем возглавил С. В. Кумпан.

Вскоре такая кафедра была организована В. М. Крейтером в Московском геологоразведочном институте. В настоящее время в горных, горно-металлургических, политехнических и геологических институтах и университетах страны имеется 11 кафедр поисков и разведки полезных ископаемых. Это не только школы высшего специального образования геологов-разведчиков, но и важные центры научно-исследовательской работы в различных областях науки о поисках и разведке.

Большая исследовательская работа по обобщению материалов поисков и разведки месторождений различных полезных ископаемых ведется также во всех территориальных геологических управлениях и объединениях.

Практические и теоретические вопросы поисков и разведки широко обсуждаются в печати. Только в последние 20 лет издан ряд монографий, учебных пособий и учебников (В. И. Смирнов, В. М. Крейтер, А. А. Якжин, М. Н. Альбов, А. М. Быбочкин, А. П. Прокофьев, М. А. Каждая, В. И. Бирюков, С. Н. Куличихин, П. Н. Трофимов, Е. О. Погребницкий, В. И. Терновой и др.). Вопросам поискового и разведочного дела посвящен журнал «Разведка и охрана недр». Статьи по соответствующей тематике публикуются в «Известиях Высшей школы», «Записках Ленинградского, горного института», в журналах «Уголь», «Горный журнал» и др.

В зарубежных странах выполняются большие объемы поисковых и разведочных работ. Техническая их вооруженность высока. Разведочные конторы монополий США, Англии, Западной Германии, Бельгии, Швеции работают не только на территории своих стран, но и в Африке, Латинской Америке и во многих странах Азии. Однако специальных разведочных кафедр в высших учебных заведениях в капиталистических странах, как нам известно, нет, за исключением Мичиганского политехнического института, где соответствующее обучение было организовано в 20-х годах настоящего столетия известным ученым В. Линдгреном. Способы и приемы поисков и разведки публикуются главным образом в виде дополнительных глав к курсам структурной геологии. Широко распространены справочники по

технике и методике поисков, опробования и разведки. Данные о результатах разведочных работ и применяющихся при этом методах иногда публикуются при описании месторождений полезных ископаемых.

В свете этих решений основные задачи, которые стоят перед геологами-разведчиками на близкую перспективу, можно сформулировать следующим образом.

1. Обеспечить непрерывное наращивание надежно разведанных запасов всех видов минерального сырья.
2. Улучшить географию минеральных ресурсов страны путем расширения поисков и разведки новых месторождений.
3. Сосредоточить разведку в первую очередь на богатых месторождениях с благоприятными горнотехническими и транспортно-экономическими условиями, высоким качеством сырья, легкой обогатимостью руд и хорошим извлечением металла.
4. Обеспечить комплексное освоение месторождений с учетом использования в промышленности не только главных, но и попутных полезных компонентов, отходов обогатительных фабрик, вскрышных пород и т. п.
5. Выявить новые виды полезных ископаемых, использование которых эффективно в народном хозяйстве.
6. Повысить эффективность, качество поисков и разведки на всех стадиях геологоразведочных работ.

В последние 5—10 лет все более широко развивается добыча различных видов минерального сырья на дне морей и океанов. Добыча ведется как на континентальном шельфе, так и на больших глубинах в открытом океане.

Перспективные запасы некоторых полезных ископаемых (нефти, газа, марганца, меди, железа, никеля, кобальта, титана, алмазов и др.) на дне морей и океанов некоторыми геологами оцениваются значительно выше, чем в пределах суши. Кроме того, запасы полезных ископаемых на поверхности дна морей и океанов непрерывно пополняются в процессе современного осадкообразования. Некоторые полезные элементы и их соединения уже выделяются в промышленных количествах из морской воды, и этот источник минеральных веществ является практически неисчерпаемым. Задачи поисков и разведки полезных ископаемых в области морей и океанов те же, что и на суше: среди общего фона распределения полезного ископаемого следует выделять площади достаточной концентрации в условиях, экономически благоприятных для добычи. Однако способы решения этих задач весьма специфичны. Кроме химических элементов и их соединений, заключенных в естественных минеральных скоплениях в земной коре, на ее поверхности и в гидросфере, в настоящее время представляют интерес в качестве полезного ископаемого скопления в недрах земли и тепловой энергии. Для их использования необходимо вести поиски и разведку, которые также имеют свои особенности.

В настоящем учебном руководстве мы рассматриваем поиски и разведку твердых полезных ископаемых в пределах суши.

Успешное решение задач поисков и разведки можно обеспечить лишь на основе развития теоретических исследований по всем разделам геологических наук. Отметим главные направления в разработке проблем учения о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, которые могут способствовать успешному решению поставленных практических задач.

1. Разработка и совершенствование учения о геологических предпосылках (закономерностях) как основы для геологических прогнозов, разведки и геолого-экономической оценки месторождений.

2. Совершенствование методов крупномасштабных геологических прогнозов как основы для проектирования эффективной разведки месторождений и их оценки.

3. Разработка новых более точных и эффективных методов теоретических исследований в разведочном деле, в частности экспериментального и математического методов для прогнозирования геолого-промышленных параметров месторождений полезных ископаемых.

4. Разработка методов геолого-экономической оценки месторождений на всех стадиях поисков и разведки.

5. Разработка эффективных методов (и их комплексов) для поисков и разведки закрытых (слепых) залежей и месторождений.

6. Разработка принципиально новых методов геологической документации геологоразведочных выработок в целях механизации и автоматизации производства документации и ее обработки.

7. Совершенствование и разработка новых методов опробования полезного ископаемого в целях наиболее эффективного, полного и комплексного использования сырья.

8. Совершенствование и разработка новых видов поисковой и разведочной техники.

9. Совершенствование организации поисков и разведки.

В каждом из этих направлений имеется большое число тем и комплексных проблем, которые требуют исследования.

При рассмотрении вопроса о стадиях геологоразведочных работ следует иметь в виду по меньшей мере три обстоятельства: 1) статистика показывает, что примерно только одно из 200 установленных коренных проявлений полезного ископаемого имеет промышленное значение; 2) в начале разведки мы очень мало знаем о месторождении и только в процессе детализации разведки получаем о нем более полные и надежные данные; 3) чем более детально ведутся разведочные работы, тем они дороже и тем больше требуют затрат труда, технических средств и времени.

Таким образом, огромный «отсев», выбраковка месторождений в процессе разведки неизбежны, следовательно, неизбежны и «бросовые» затраты средств на их изучение. Эти затраты следует сводить к минимуму,

поэтому важно отделять непромышленные месторождения от промышленных на первых стадиях разведочных работ. Но для того чтобы забраковать месторождение, нужны веские основания, а чем сложнее месторождение, тем труднее определить границу между промышленным и непромышленным месторождением.

Кроме того, среди промышленных месторождений следует выделять наиболее благоприятные, надежные, которые подлежат детальной разведке в первую очередь; остальные месторождения могут пока находиться в резерве.

Поэтому неизбежна стадийность геологоразведочных работ. Каждая стадия должна отвечать определенной степени изученности месторождения, позволяющей установить его народнохозяйственное значение, и определяется конкретной общей народнохозяйственной задачей в освоении месторождения. Из этой общей задачи вытекают частные задачи данной стадии геологоразведочных работ. Работы каждой последующей стадии опираются на результаты предыдущей.

Выделение стадии геологоразведочных работ не означает, что после окончания каждой из них работы обязательно приостанавливаются. Процесс разведки может быть и непрерывным, но после окончания каждой стадии следует подвести итоги, оценить результаты работ, определить промышленную ценность месторождения, чтобы обосновать переход к следующей стадии работ.

Геологоразведочные работы были четко разделены на стадии уже давно, с первых шагов развития науки о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в СНГ. Деление это приводится во всех изданных руководствах и учебниках. Однако на практике стадийность геологоразведочных работ одно время считалась тормозом в разведке месторождений. Существовало мнение, что вновь открытое месторождение необходимо во избежание потери времени немедленно детально разведывать. Это привело к излишним затратам средств на детальную разведку непромышленных или экономически мало эффективных месторождений и увеличению сроков передачи месторождений в эксплуатацию.

В настоящее время в работе геологоразведочных организаций правильно понята необходимость стадийного подхода к разведке месторождений.

В методических указаниях о проведении геологоразведочных работ по стадиям для твердых полезных ископаемых дана следующая их стадийность:

Стадия I. Региональные геологические и геофизические работы. Подстадии:

- 1-1 — региональные геофизические работы масштаба 1 : 200 000;
- 1-2 — региональная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000;
- 1-3 — региональная геологическая съемка масштаба 1 : 50 000;
- 1-4 — глубинное геологическое картирование.

Стадия II. Поиски месторождений полезных ископаемых. Подстадии:

- П-1 — общие поиски;

И-2 — детальные поиски;

П-3 — поисково-оценочные работы.

Стадия III. Предварительная разведка.

Стадия IV. Детальная разведка.

Стадия V. Разведка эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода.

Стадия VI. Эксплуатационная разведка.

Региональные геофизические и геологосъемочные работы дают геологическое обоснование для целенаправленных научно обоснованных поисков месторождений полезных ископаемых. В процессе региональных съемок ведутся также и попутные поиски, но при работах масштаба 1 :200 000 и даже 1 :50 000 много месторождений может быть не обнаружено. Так как большая часть площадей является «пустой», то ставить систематические поиски сплошь на всей территории нецелесообразно, а обоснованное выделение перспективных и «пустых» площадей возможно лишь на основе региональных геофизических и геологических съемок. В этом и заключается их главная задача.

В зависимости от степени изученности особенностей геологического строения региона или его частей и перспективности в отношении полезных ископаемых некоторые подстадии регионального геологического изучения могут быть объединены или исключены из общего цикла. В частности, перед каждой стадией необходимо весьма тщательно оценить методы, технические возможности и предполагаемые результаты глубинного геологического картирования в данных конкретных условиях.

Общие поиски имеют целью выявление площадей и участков, перспективных на нахождение полезных ископаемых. Во многих случаях при этом будут выявлены и конкретные их проявления. Задача детальных поисков — выявление всех конкретных проявлений полезных ископаемых. Задача поисково-оценочных работ состоит в определении возможных промышленных перспектив конкретных точек рудопроявлений и «отсева» всех безусловно бесперспективных. Общей задачей поисковых работ предусматривается создание фонда перспективных проявлений полезных ископаемых в районе для последующей их разведки и освоения.

В зависимости от вида полезного ископаемого, факторов, контролирующих размещение (геологических предпосылок) месторождений, особенностей геологического строения района (особенно характера и степени обнаженности, геоморфологии и т. п.) подстадии поисков можно объединять и исключать. В любых условиях обязательны поисково-оценочные работы как итог всех поисковых работ.

Главная задача предварительной разведки—геолого-экономическая оценка месторождения в целях определения его промышленного значения, очередности детальной разведки и промышленного освоения.

На стадии детальной разведки месторождение должно быть изучено с полнотой и достоверностью, необходимой для составления проекта,

строительства и эксплуатации горного предприятия, обогатительных и передельных цехов. Детально разведанные месторождения или части их передаются для освоения промышленностью.

С начала строительства рудника, даже в процессе его проектирования, тем более в процессе эксплуатации разведка месторождения не прекращается. После детальной разведки почти всегда приходится проходить дополнительные буровые скважины на местах заложения капитальных выработок (шахтных стволов, рудничного двора, капитальных бремсбергов, квершлагов, разрезных траншей и др.) для уточнения геологических и инженерно-геологических условий их проходки. Часто необходима также детализация тектонического строения, изменчивости мощности и строения залежи полезного ископаемого, характера вмещающих пород в определенных блоках и участках шахтного (карьерного) поля в целях обоснования проектных решений в отношении систем, техники и технологии вскрытия и отработки объекта.

Иногда для обоснования выбора проектной мощности предприятия, рационального размещения технических, коммунальных и других сооружений и зданий, разного рода коммуникаций требуется уточнение как в контуре детально разведанного рудничного поля, так и за его пределами перспектив прироста подсчитанных запасов и их геометризации на флангах, глубоких горизонтах за счет резервных и второстепенных пластов и залежей. Аналогичные задачи могут возникнуть в связи с изменением требований промышленности к минеральному сырью, для обоснования проектов реконструкции действующих предприятий или прекращения их деятельности.

Все это задачи пятой стадии геологоразведочных работ. Следует иметь в виду, что рассматриваемые работы могут производиться и за пределами горного отвода. Главной их особенностью является то, что они производятся после окончания детальной разведки по инициативе и заданиям соответствующей отрасли горнодобывающей промышленности и самого предприятия и продолжаются от начала освоения месторождения до его полной отработки.

Иногда работы этой стадии проводятся даже на старых отработанных и погашенных объектах в связи с проектами более полного использования минерального сырья, например с целью переработки отвалов, эфелей и т. п.

Задача шестой стадии геологоразведочных работ эксплуатационной разведки — обеспечение перспективных планов добычи минерального сырья на действующем предприятии. Это составная часть задач общего геологического обслуживания горного предприятия, т. е. рудничной (шахтной) геологической службы. Во многих случаях работы пятой стадии также имеют эти же задачи.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теория тогда заслуживает этого названия, когда на основании ее можно предвидеть, предсказать неизвестные явления и процессы или их характерные черты. Предсказания, построенные на теоретической основе, называются прогнозом. Прогноз не исключает эвристического начала, но именно теоретическим обоснованием прогнозирование отличается от гадания. Планирование поисков производится на основании прогнозной сравнительной оценки перспективности района в отношении того или иного полезного ископаемого. Оценка месторождения по результатам поисково-разведочных работ — это предсказание о возможных запасах полезного ископаемого, его качестве и условиях разработки. Проектные разведочные планы и разрезы служат прогнозными построениями, которые являются основой проектирования и управления производством разведки. При выборе места для заложения каждой разведочной выработки, построении ее проектного разреза, расчет направления и глубины исходят из более или менее обоснованного предположения о геологическом строении данного участка, условий залегания пород и полезного ископаемого и т. п.

Любое обобщение геологосъемочных, поисковых и разведочных данных неизбежно содержит элементы прогноза, так как геологические наблюдения по природе своей дискретны, а значения наблюдаемых параметров от точки к точке изменяются.

Иногда высказывается мнение, что нельзя сравнивать прогнозные построения при составлении, например, металлогенических карт для провинций с прогнозными разрезами для разведочной скважины или с построениями для оперативного плана эксплуатационного предприятия. Следует категорически отрицать правильность такого взгляда. Принципиальной разницы здесь нет: и в том, и в другом случае задача одна — обоснованно предвидеть явление или его характеристику, которые в настоящий момент неизвестны. Различие только в масштабе прогноза: в первом случае это масштабы 1:1000 000—1:200 000, а во втором 1:50—1:100. Причем крупномасштабный прогноз часто бывает более плодотворным, чем мелкомасштабный.

Прогнозирование для геолога-разведчика является безусловно одним из основных элементов его работы, поэтому необходимо разрабатывать теоретические основы и методы прогнозирования и уметь ими пользоваться.

Объект поисков и разведки — полезное ископаемое (руда), которое образует геологическое тело (залежь) среди других геологических тел, сложенных так называемыми пустыми породами.

Месторождение (залежь) полезного ископаемого в процессе поисков и разведки выделяется и изучается с целью установления наиболее

целесообразного способа добычи минерального сырья и экономически эффективного его использования с возможной максимальной полнотой.

Пустая порода отличается от полезного ископаемого по экономическим или геолого-экономическим показателям. Поэтому основу теории поисков и разведки составляют вопросы экономики минерального сырья, его добычи, обработки и переработки.

Залежь полезного ископаемого и месторождение в целом — геологические тела разного порядка. Их образование и пространственное размещение контролируются геологическими закономерностями, знание которых не менее важно для теории поисков и разведки.

Месторождения полезных ископаемых формируются и размещаются в земной коре в результате многообразных и сложных процессов. Геологические тела — образования многофакторные, а геологические закономерности по природе своей имеют вероятностный характер. Их выявление и осмысливание кроме применения геологических, геофизических и геохимических методов наблюдения и обобщения требует математического обоснования. Геолого-промышленные параметры, определяющие ценность месторождения, технику, технологию и экономику добычи, обработки и переработки сырья, изменчивы, поэтому результативность поисков и разведки различна. Предсказание средних значений параметров, степени и характера изменчивости их в заданном пространстве как явлений многофакторных и вероятностных требует для моделирования во многих случаях применения аппарата теории вероятности.

Таким образом, сущность объекта поисков и разведки может быть вскрыта и описана методами трех наук: экономики, геологии и математики, которые являются таким образом фундаментом теории рассматриваемой дисциплины» Решение поисковых и разведочных задач требует применения комплекса методов указанных наук.

2. ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Поиски и разведка начинаются с умения отличать полезное ископаемое от пустой породы и промышленное месторождение от рудопроявления. Любое месторождение характеризуется конкретными значениями свойств или, как их называют, геолого-промышленных параметров: условий и глубины залегания, мощности рудных тел и вскрышных пород, мощности и положения безрудных прослоев, минерального состава и содержания полезных и вредных компонентов, устойчивости руд и вмещающих пород, размеров водопритоков и др. Конкретные значения каждого из них влияют на экономические показатели добычи, переработки и использования минерального сырья. Поэтому для промышленности необходимо определять предельные значения геолого-промышленных параметров (кондиция), при которых технически возможна и экономически целесообразна разработка месторождения. Кондиции служат для отделения (оконтуривания) промышленных руд, залежей, участков месторождения от

непромышленных. С этой точки зрения геолого-промышленные параметры тесно взаимосвязаны: допустимые мощность и строение залежи зависят от качества полезного ископаемого, условий и глубины залегания и т. п. Поэтому разведка месторождения представляет собой по существу изучение геолого-промышленных параметров, закономерностей их изменения в пространстве, взаимной связи и влияния на технику и экономику разработки месторождения. В результате ее проведения устанавливают оптимальные значения геолого-промышленных параметров, в соответствии с которыми производят оконтуривание и подсчет запасов промышленных руд.

Мощность залежи. При рассмотрении значений мощности залежи в первую очередь следует различать рабочую (кондиционную) и нерабочую (некондиционную) мощности. Необходимо установить общий рабочий контур залежи, т. е. оконтурить площади с кондиционной мощностью. Внутри общего рабочего контура залежи в отдельных точках, блоках и участках она может иметь нерабочую мощность. Если точки с нерабочей мощностью или точки полного выклинивания залежи внутри рабочего контура отсутствуют, залегание тела, считают непрерывным. Если внутри рабочего контура имеются некондиционные блоки и участки большей или меньшей площади, то считают, что залежь имеет прерывистое залегание. В практике горного и разведочного дела пользуются понятием устойчивости мощности или устойчивости залежи. Это понятие обратное прерывистости, но в него входит еще показатель величины площади рабочего контура. По устойчивости обычно выделяют четыре типа залежей.

1. Устойчивые залежи — непрерывно протягиваются, имея рабочую мощность в пределах шахтного поля, месторождения, района и даже бассейна. Иногда площадь рабочего контура залежи достигает на осадочных месторождениях десятков и сотен квадратных километров.

2. Относительно устойчивые залежи — в пределах площади рабочего контура встречаются отдельные точки и даже небольшие блоки с нерабочей мощностью. Суммарная площадь таких блоков составляет не более 25% всей площади рабочего контура.

3. Неустойчивые залежи — прерывистые. Внутри общего рабочего контура более или менее значительной площади встречаются блоки с нерабочей мощностью (или блоки пустых пород), занимающие в сумме до 50% площади рабочего контура.

4. Крайне неустойчивые залежи — блоки рабочей мощности относительно небольшой площади встречаются спорадически среди пустых пород или участков с нерабочей мощностью. Суммарная площадь рабочих блоков менее 50% всей площади залежи.

Иногда крайне прерывистая по мощности залежь представлена рядом небольших тел, четкообразно, кулисообразно и беспорядочно залегающих в пределах одного горизонта или зоны. Оконтуривание и разработка каждого такого тела в отдельности ввиду незначительной площади их нерациональны. В этих случаях приходится решать вопрос о кондиционности всего горизонта

или зоны по коэффициенту рудоносности (продуктивности), т. е. по соотношению объемов всего продуктивного горизонта и полезного ископаемого в нем. Такие залежи иногда являются в промышленном отношении перспективными. Они отличаются большими запасами, хотя качество полезного ископаемого в них ниже вследствие разубоживания пустой породой, которую приходится извлекать вместе с полезным ископаемым.

Устойчивость подобных залежей следует определять по устойчивости продуктивного горизонта (зоны), а не отдельных скоплений полезного ископаемого.

Непрерывный рабочий контур залежи (горизонта, зоны) может быть разобщен на отдельные блоки в результате эпигенетических пострудных процессов, в результате которых деформируется залежь, прерывается ее сплошность, иногда перемещают блоки в пространстве. К таким процессам относятся, например, пострудные тектонические движения, внедрения магматических пород, эрозия и т. п. Сингенетическая прерывистость залежи, как правило, постепенная, плавная, эпигенетическая — резкая, скачкообразная.

Исследуя устойчивость залежи, необходимо решать вопрос о геологической (генетической) природе изменчивости залежи по мощности, так как это может дать основание для выявления закономерностей изменчивости ее мощности.

Кроме степени и характера устойчивости рабочей мощности залежи для разработки ее имеют большое значение размер и характер колебаний мощности залежи в пределах рабочего контура. Как известно, уменьшение мощности залежи приводит к снижению производительности горных работ. Особенно важно оконтурить блоки, где вследствие изменения мощности залежи необходимо изменение в технологии проходки подготовительных выработок и применение иных систем разработки.

По мощности в горном деле выделяется обычно пять классов залежей: 1) тонкие — менее 1,0—1,5 м; 2) средние — от 1,0—1,5 до 3—4 м; 3) мощные — от 3—4 до 8—10 м; 4) весьма мощные — 10—50 м; 5) сверхмощные — более 50 м.

При крутых углах падения залежей кондиции по мощности снижаются, в этих условиях для границ классов мощности следует брать соответственно нижние пределы.

Одновременно с мощностью залежи изучают ее внутреннее строение. Допустимая мощность прослоев пустых пород внутри залежи и ее соотношение с мощностью прослоев полезного ископаемого определяется кондициями. Основное значение имеют изменения строения залежи, обуславливающие несоответствие ее параметров в отдельных блоках кондициям, а также изменения в пределах кондиций при расщеплении залежи на самостоятельные в горнотехническом отношении объекты.

Качество полезного ископаемого. Химический и минеральный состав полезного ископаемого, его технические и технологические свойства определяют способ, средства и стоимость его переработки, а также эффективность использования, что характеризует ценность (качество) полезного ископаемого.

В химическом составе полезного ископаемого различают полезные и вредные компоненты. Полезные компоненты — это химические элементы и соединения, ради которых полезное ископаемое добывается, вредные — составные части, которые затрудняют его переработку или снижают качество получаемой из полезного ископаемого продукции. Например, небольшие содержания серы (больше 0,3%) и фосфора (более 0,15%) в железной руде и угле придают чугуны и стали хрупкость и ломкость. Если пытаться избавиться от них при переработке, то это снижает производительность плавки примерно на 5% на каждый 1% серы и 0,1% фосфора. Однако следует иметь в виду, что сами по себе сера и фосфор являются полезными компонентами, и если их отделить от железной руды или угля, то они составят дополнительную ценность соответствующих полезных компонентов. Так, при содержании фосфора более 5% в железной руде при так называемом томасов-ском процессе выплавки получают высокосортную сталь и томасовские шлаки — ценное фосфатное удобрение. Возникает возможность более полного комплексного использования сырья.

В большинстве случаев руда кроме главных содержит попутные компоненты. Иногда в случае очень небольших содержаний добыча их была бы не экономична, но при извлечении попутно с основными они представляют собой значительную ценность и являются важной сырьевой базой ряда важных и редких элементов. Например, такие общеизвестные попутные компоненты, как платиноиды в некоторых медно-ни-келевых рудах, кобальт в ряде магнетитовых месторождений, серебро, юлото, кадмий, теллур в медно-свинцово-цинковых рудах, германий и уран в углях и др., часто повышают ценность месторождений по главным полезным компонентам вдвое, а запасы их даже выше, чем на крупных самостоятельных месторождениях этих компонентов. При оценке качества полезного ископаемого должен обязательно учитываться комплексный характер его, поскольку оценка только по основным компонентам является весьма приближенной и грубой.

Для оценки качества многих полезных ископаемых решающее значение имеют их физические свойства, например для асбеста, слюды, алмазов, пьезооптического сырья, каолина, глины, графита и других из I группы так называемого горнорудного сырья. Здесь важны сорта полезного ископаемого в соответствии с требованиями ГОСТа и выход каждого сорта на единицу веса или объема сырья.

По содержанию и сортовому составу различают руды богатые, рядовые (средние) и убогие. Грубо это разделение можно проводить так: убогие — ниже кондиций, бедные — близки к кондициям, но несколько выше их, к

богатым относятся часто руды, которые могут идти в заводскую переработку без обогащения, например железные руды с содержанием железа больше 50%. Однако для других металлов (олово, вольфрам) богатыми называются высокопроцентные руды, хотя для непосредственной металлургической плавки они непригодны и подлежат обогащению.

Качество полезного ископаемого определяется не только содержанием в нем полезного компонента и сортностью, но и его технологическими свойствами. Последние являются часто решающим фактором при оценке как металлических, так и неметаллических полезных ископаемых. Бедные и даже убогие, но легко обогатимые руды при их эксплуатации часто дают больший экономический эффект, чем руды средние, но трудно обогатимые или требующие для извлечения металла больших затрат энергии, дефицитных материалов и труда.

Обогатимость полезного ископаемого определяется в результате его технологического опробования и испытания.

Для ориентировки в оценке качества в табл. 1 приведены примерные характеристики некоторых полезных ископаемых по содержанию полезных компонентов.

Для сравнения интересны данные о содержаниях металла в богатых рудах ряда известных мировых месторождений: Сёдбери (Канада) — Ni 2,6% + Cu 1,5—2,0%; Рио-Тинто (Испания) — Cu 2%; Бьют-Монтана (США) — Cu 4%; Тсумеб (Заир) — Cu 10%; Брокен-Хилл (Австралия) — Pb 22% + Zn 32%; Кобальт (Канада) — Ca 0,6—10%; Лаллагуа (Боливия) — Sn 2—4%; Альмаден (Испания) — Hg—4%; Витватерсранд (ЮАР) — Au 6,5 г/т + 11 — до 0,03%; Катанга (Заир) — Co 1% + Cu 4%.

В отечественной разведочной практике следует в первую очередь обращать внимание на открытие и разведку высокопроцентных руд, так как разработка таких месторождений при большом объеме запасов экономически наиболее эффективна.

Кондиционный состав и свойства полезного ископаемого являются показателями, на основе которых проводят рабочий контур залежи, определяют ее форму и мощность. Поэтому когда рассматривается морфология тела полезного ископаемого и, в частности, его мощность, прерывистость или непрерывность залегания, следует учитывать и качество полезного ископаемого. Например, пласт угля может иметь непрерывное залегание, кондиционную мощность на значительной площади, но в пределах этого контура в отдельных блоках зольность угля может быть выше кондиционной. Такие блоки следует исключить из промышленно пригодных контуров. В целом подобный пласт имеет прерывистое залегание. Пласты золотоносных конгломератов месторождения Витватерсранд (ЮАР) непрерывно протягиваются на площади в несколько тысяч квадратных километров, но блоки с промышленным содержанием золота площадью 1—3 км² залегают в них прерывисто.

Таким образом, при установлении непрерывного или прерывистого залегания полезного ископаемого следует учитывать кондиции как по мощности, так и по качеству полезного ископаемого.

Условия залегания. По величине угла падения рудных тел различают: а) горизонтальное и весьма пологое залегание ($0—5^{\circ}$), пологое залегание ($5—25^{\circ}$); в) наклонное залегание ($25—45^{\circ}$); г) крутое залегание ($45—60^{\circ}$); д) весьма крутое залегание ($60—90^{\circ}$). Выдержанные в пределах блока простирание и падение характеризуют простое залегание, независимо от того, залегают породы горизонтально, полого, наклонно или круто.

Сложное залегание наблюдается при изменении (особенно резком) угла падения, например, из пологого в наклонное или крутое и т. п. Чем более резкие переходы, т. е. чем больше изменяются величина углов падения и направление простирания, тем сложнее условия для разведки и разработки месторождения. Крайней степенью сложности, этом отношении отличаются резкие флексурные изгибы, сжатые мелкие асимметричные складки, волнистость и пloyчатость залегания. В одной и той же складке могут быть участки различной степени сложности: например, простое залегание на крыльях складки, сложное волнистое в сводовой ее части и очень сложное на переходе бортов ко дну коробчатых складок или в осложненных вторичной складчатостью замковых частях складки.

Как правило более сложные пликативные дислокации сопровождаются дизъюнктивными нарушениями, зонами смятия, раздавливания пород, резким изменением физических свойств боковых пород и полезного ископаемого.

Степень дизъюнктивной нарушенноеTM характеризуется главным образом количеством нарушений на единицу длины по простиранию и падению залежи. Дизъюнктивные нарушения осложняют горные ра-Г.оты если выходят за пределы мощности полезного ископаемого. Можно считать что крупные, но редкие дизъюнктивные нарушения с амплитудой в несколько десятков и сотен метров, как правило, вызывают меньше осложнений, чем небольшие по амплитуде, но частые нарушения.

Крупные нарушения почти всегда можно установить по данным гео-могического картирования и геофизическими методами. На стадии раз-игдки необходимо проведение лишь дополнительных выработок для подсечения их на глубине. Они часто являются естественными границами шахтных полей и участков.

Крайняя степень тектонической сложности возникает при сочетании мелких сжатых складок с частыми дизъюнктивными, беспорядочно ориентированными нарушениями. Рудные тела при этом становятся крайне прерывистыми. Отдельные участки или даже месторождения целиком в этом случае часто не пригодны к разработке.

Причиной прерывистости тел полезных ископаемых может являться и пострудный магматизм — внедрение в продуктивную толщу секущих и пластовых магматических тел. Такие тела прерывают сплошность рудных

тел, что иногда резко изменяет не только условия их разработки, но и качество полезного ископаемого. Степень осложнения залегания рудных тел в связи с пострудной магматической деятельностью зависит от размера магматических тел, их числа и взаимного расположения. Крайне сложное проявление магматической пострудной деятельности также может явиться причиной непромышленного значения месторождения или отдельных его частей.

Как пликативная, так и дизъюнктивная тектоника иногда является положительным фактором в оценке промышленных перспектив месторождения. Например, в результате тектонических явлений могут быть сближены ранее разобщенные промышленно интересные зоны и тела месторождения, что повышает его общую продуктивность (сдвоение продуктивных свит в результате надвигов или взбросов, образования изоклинальных складок и т. п.).

Устойчивость разреза вмещающих пород характеризуется наличием достаточно постоянных, легко различимых опорных маркирующих горизонтов, которые можно уверенно интерполировать, прослеживать, и на основании которых можно сопоставлять разрезы по отдельным разведочным выработкам и линиям, составлять геологические профили и осуществлять другие геологические обобщения. Для характеристики изменчивости мощности, строения вещественного состава залежи полезного ископаемого требуется прежде всего надежная идентификация ее в различных точках и сечениях. При этом необходима уверенность, что изучается одно и то же тело полезного ископаемого. Без надежного сопоставления разрезов тектонические построения также не обоснованы.

Из вышеизложенного следует, что одной из важных задач геолого-разведочных работ от региональных мелкомасштабных съемок до обобщения материалов по разведке является сопоставление и взаимная увязка разрезов. Как правило, разрезы морских осадочных толщ являются наиболее выдержанными. Разрезы, сложенные изверженными породами, эффузивами, метасоматически измененными породами, часто наименее выдержанны и с трудом поддаются расшифровке.

Условия разработки месторождения. Условия добычи полезного ископаемого характеризуются рядом геолого-промышленных параметров, в том числе и тех, которые рассмотрены выше (мощность и форма залежи, условия залегания тел полезного ископаемого и вмещающих пород, прерывистость залежей и т. п.). Решающее значение для характеристики условий разработки имеют следующие специальные геолого-промышленные параметры: глубина залегания, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, крепость и твердость полезного ископаемого и боковых пород, газоносность, термальный режим месторождения.

Глубина залегания полезного ископаемого рассматривается прежде всего с точки зрения способа разработки месторождения (открытый или

подземный). Как правило, открытый способ разработки более эффективен по производительности труда, безопасности ведения горных работ и по себестоимости продукции. Экономическая эффективность открытой разработки месторождения определяется соотношением объемов (масс) вскрыши и полезного ископаемого. Вскрыша — пустые породы, которые необходимо снять и удалить с залежи полезного ископаемого, чтобы ее обнажить для добычи. Выбор способа разработки основан на технико-экономических расчетах. При этом учитывается возможность использования пород вскрыши. Для приближенных суждений на этапе поисковых работ и первой стадии разведки можно пользоваться так называемым коэффициентом вскрыши, который определяется отношением мощности вскрыши к мощности залежи полезного ископаемого. Если залежь сложного строения или если имеется несколько тел, разделенных прослоями пустой породы, в мощность вскрыши следует включать и мощность пустых пород внутри залежи (между отдельными залежами), а мощность полезного ископаемого принимать суммарную по всем пачкам и отдельным телам.

Максимально допустимый коэффициент вскрыши колеблется в зависимости от ценности полезного ископаемого: для строительных материалов его принимают не более 1 : 3, для углей 1 : 6, для руд черных металлов 1 : 10, для цветных металлов до 1 : 40. Отметим, что в мировой практике горной промышленности уже действуют карьеры для открытой разработки полезных ископаемых глубиной более 500 м. Максимальная глубина подземной разработки твердых полезных ископаемых в настоящее время превышает 3500 м (разработки золота и алмазов в Южной Африке и Индии). Подземные разработки глубиной 1500—2000 м встречаются довольно часто, а 1000—1500 м — обычная глубина при добыче угля, железа, солей и руд Цветных металлов во многих старых промышленных районах, например в Донбассе, Кривом Роге, а также за рубежом — в Богемии, Рурском бассейне.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия. В шахтной (рудничной) гидрогеологии месторождения разделяют по степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических признаков на четыре группы.

I группа — месторождения простые: водопритoki в шахту или карьер отсутствуют или составляют до 100—200 м³/ч; при освоении месторождения не требуется проведения специальных осушительных мероприятий.

II группа — месторождения средней сложности: водопритoki в шахту или карьер составляют 200—500 м³/ч; требуется проведение в относительно небольшом объеме мероприятий по осушению или снижению напора подземных вод. Осуществление таких мероприятий особых осложнений не вызывает.

III группа — сложные месторождения: водопритoki в шахту или карьер составляют 600—1000 м³/ч; для вскрытия и эксплуатации требуется

проведение предварительных и систематических мероприятий по осушению или снижению напора подземных вод. Осушительные мероприятия могут быть затруднены.

IV группа —очень сложные месторождения: водопритоки в шахту или карьер составляют 1000—2000 м³/ч и более; проведение осушительных мероприятий затруднено.

К условиям, осложняющим разработку месторождений, относятся следующие:

- а) наличие в составе вмещающей толщи неустойчивых пород;
- б) наличие высоких напоров подземных вод как в кровле, так и в подошве залежи полезного ископаемого;
- в) возможная временная (сезонная) или постоянная связь подземных вод с потоками или водоемами поверхностных вод;
- г) наличие мощных современных или древних сильнообводненных «аллювиальных отложений в составе наносов, покрывающих месторождение;
- д) карстовые явления;
- е) многолетняя мерзлота.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Табл. 1 Примерные характеристики руд по качеству

Полезное ископаемое	Единицы измерения	Качество руд по содержанию главных компонентов		
		богатые (более)	Рядовые (средние)	бедные (менее)
Железная руда (содержание железа)	%	50	30-50	30
Медные руды мономинеральные (содержание меди)	%	3	1-3	1
Полиметаллические руды (содержание свинца+цинк)	%	15	5-15	5
Оловожильные месторождения	%	3	1-3	1
крупные штокверки	%	1	0,3-1	0,3
россыпи	кг/м ³	10	1—10	300
коренное	г/т	10	5-10	3-5
в россыпи	г/м ³	5	1-5	1
Уран (зарубежные данные)	%	0,3	0,1-0,3	0,1
Фосфориты (содержание Р ₂ О ₅)	%	20	10-20	6—10
Слюды (содержание полезного ископаемого в забойном сырце)	кг/м ³	100	20 — 100	3-10

ПОНЯТИЕ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Природное многообразие полезных ископаемых и различные направления их использования представляют весьма сложную картину. В связи с этим классификация промышленных типов месторождений полезных ископаемых и соответствующая характеристика составляет обширный предмет, еще не вполне разработанный в научно-теоретическом отношении. Тем не менее представления об определенных промышленных типах месторождений вошли в практику геологоразведочных работ довольно прочно. Промышленные типы месторождений служат основой сравнительного анализа разведочных данных, позволяя сопоставлять и оценивать объекты разведки по аналогии с им подобными, принадлежащими к тому же промышленному типу. В настоящем учебнике даются лишь общие представления о промышленной группировке и приводятся примеры месторождений полезных ископаемых, характеризующие некоторые важные типы.

Основополагающие представления о промышленных типах месторождений полезных ископаемых изложены в капитальных трудах В. М. Крейтера и В. И. Смирнова. Одновременно промышленная типизация и соответствующая систематизация всевозможных месторождений полезных ископаемых разрабатывалась в практике поисков, разведок и эксплуатации, что находило отражение в различного рода инструкциях и методических пособиях по геологоразведочным работам, подсчетам запасов полезного ископаемого, системам разработки и т. п.

Промышленная классификация месторождений полезных ископаемых основывается, с одной стороны, на их важнейших природных свойствах, а с другой — на возможностях и направлениях использования добываемого минерального сырья. Твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые подразделяются на группы соответственно общности их промышленного назначения. Ниже дается промышленная группировка различных полезных ископаемых по В. М. Крейтеру.

1. Минеральное топливо, включающее уголь, нефть и газ.
2. Руды черных металлов, в число которых входят железные, марганцевые, хромовые, титановые и др.
3. Руды цветных металлов, из которых получают алюминий, медь, свинец, цинк, олово, ртуть, сурьму и многие другие металлы.
4. Руды драгоценных (благородных) металлов, в основном золота и платиноидов.
5. Руды радиоактивных элементов, преимущественно урана.
6. Руды, содержащие редкие и рассеянные элементы, литий, бериллий, тантал, ниобий, цирконий, редкие земли.

7. Руды для химической промышленности, среди которых наибольшее значение имеют каменные соли, фосфориты, апатиты, сера, плавиковый шпат.

8. Руды индустриального сырья (техническое сырье) — алмазные кимберлиты, асбесты, тальк, графит, оптические минералы и др.

9. Флюсы и огнеупоры для металлургической промышленности, представленные известняками, доломитом, магнезитом, кварцем, глинами.

10. Строительные материалы — бутовый и облицовочные камни, гравий и песок, известняки и глины.

11. Подземные воды, среди которых различаются источники питьевого или технического водоснабжения и минеральные источники.

Внутри этих групп выделяются природные типы месторождений по комплексу признаков. В. М. Крейтер в качестве признаков промышленного типа принял формы, размеры, качество и условия залегания тел полезных ископаемых, поскольку они оказывают решающее влияние на способы разработки и методику разведки месторождений. В. И. Смирнов при промышленной группировке рудных месторождений подчеркивал признаки: генетический класс, определяющий природу месторождения; структуру месторождения, влияющую на его формы; вещественный состав руд, являющийся основой их качества, и состав вмещающих горных пород.

Каждая из названных промышленных групп включает значительное число природных типов месторождений, вследствие чего общая классификация насчитывает сотни, типов. С развитием горной и перерабатывающей промышленности претерпевает изменения и промышленная классификация месторождений полезных ископаемых. Некоторые типы месторождений утрачивают свое прежнее значение или оказываются исчерпанными (богатые рудные жилы меди и свинца, драгоценные камни). В то же время вовлекаются в отработку месторождения новых, ранее не добывавшихся полезных ископаемых. Так, с возникновением потребностей в минеральных удобрениях, радиоактивном сырье, редких элементах появились новые промышленные типы месторождений апатита, урана, редкометалльных руд.

Промышленная значимость различных типов месторождений не одинакова и измеряется в основном двумя показателями: 1) долей запасов полезного ископаемого в данном типе относительно мировых запасов этого полезного ископаемого и 2) долей добычи минерального сырья из месторождений, принадлежащих к данному типу, относительно мировой добычи такого минерального сырья. При этом в разных странах значение одного и того же промышленного типа месторождений может быть большим или меньшим ввиду того, что отдельно взятая страна, как правило, не обладает всеми типами месторождений полезных ископаемых. Исключением является СНГ, где находятся почти все известные в мире промышленные типы месторождений.

ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Месторождения угля, занимающие обычно обширные территории (бассейны), довольно разнообразны по качеству и условиям залегания.

Крупнейшие угольные месторождения представлены много пластовыми угольными свитами или мощными буроугольными отложениями. Месторождения этих двух промышленных типов заключают многие миллиарды тонн угля и дают более половины добываемого в мире твердого минерального топлива.

Руды черных металлов — железа, марганца, хрома, титана — в качестве попутных компонентов содержат ванадий, германий, иногда никель и кобальт и др.

Самые крупные месторождения железных руд принадлежат к трем промышленным типам: 1) пластовые и пластообразные гематит-магнетитовые залежи среди железистых кварцитов (рис. 1); 2) пласты гематит-сидерит-шамозитовых руд среди прибрежно-морских отложений и 3) штокообразные и плитообразные залежи магнетитовых руд со скарнами в толщах осадочно-эффузивных пород. В этих типах находятся около 70% мировых запасов железных руд. Они дают примерно 80% общей мировой добычи этих руд.

Крупнейшие месторождения окисных марганцевых руд находятся в СНГ. Они представляют собой протяженные рудные пласты среди прибрежно-морских отложений. Половина мировой добычи марганца поступает из месторождений этого типа.

Наиболее значительные промышленные месторождения титановых руд принадлежат к типу древних россыпей и титаномagnetито-вым залежам в ультраосновных массивах.

Руды цветных и драгоценных металлов принадлежат ко многим разнообразным, преимущественно комплексным месторождениям, содержащим два-три и более полезных металлов.

Важнейшим типом месторождений медных руд являются медистые песчаники. Комплексные месторождения медистых сланцев кроме меди содержат серебро, молибден и ряд других рассеянных металлов. Обильны и богаты "никелем, медью, кобальтом, платиноидами сульфидные залежи в ультраосновных породах, образующие тип так называемых медно-никелевых месторождений. Широко распространен тип колчеданных полиметаллических залежей в метаморфических и эффузивно-осадочных толщах, содержащих свинец, цинк, медь, золото, серебро, индий, кадмий, галлий, германий и др. (рис. 2). Тип штокверковых месторождений меди с молибденом, золотом, рением характерен огромными рудными телами, хотя и небогатыми по содержанию полезных компонентов (рис. 3). Перечисленные типы месторождений дают большую часть добываемых в мире меди, никеля, свинца, цинка, молибдена и заключают в себе основную

массу этих металлов. Так же значительна попутная добыча из названных месторождений золота, серебра и некоторых рассеянных элементов.

Залегающие среди метаморфических толщ огромные свиты конгломератов, распространенные на обширных территориях Африки, несут золотое оруденение, иногда с ураном. Этот наиболее продуктивный тип золоторудных месторождений вместе с другим типом золотоносных кварцевых жил составляет главные ресурсы рудного золота в мире. Два названных типа дают более половины мировой добычи золота. В СНГ большую роль играет третий промышленный тип — золотоносные россыпи.

Ведущим промышленным типом месторождений олова являются оловоносные россыпи, заключающие 60% мировых запасов оловянного камня. Большое значение имеют также оловянно-полиметаллические жилы в эффузивно-осадочных метаморфизованных толщах (рис.4).

Наиболее значительными месторождениями киновари являются линзообразные и неправильные залежи вкрапленных руд среди песчаников и сланцев.

Основным источником алюминия являются крупные пластообразные залежи бокситов среди пестроцветных пород коры выветривания и пласты моногидратных руд, залегающие на рифогенных известняках.

Кроме перечисленных наиболее значительных промышленных типов месторождения цветных и драгоценных металлов с рассеянными в них редкими элементами образуют много других типов, представленных разнообразными рудными жилами и залежами медных, никелевых, свинцово-цинковых, золотых, вольфрамовых и молибденовых руд. Большинство из этих сравнительно небольших месторождений ценно своими высокими концентрациями рудного вещества.

Но вследствие небольших размеров такие месторождения обладают малыми запасами руд и, следовательно, промышленные типы жильных месторождений цветных металлов и золота заключают в себе меньшую долю запасов руд. Обычно они составляют и меньшую долю в добыче руд.

Руды радиоактивных элементов.. Залежи ураноносных конгломератов, песчаников и сланцев обладают наиболее крупными запасами руд, но обычно небогатых. Обособленный промышленный тип составляют рудные жилы, содержащие высокие концентрации урана, никель, кобальт, серебро, висмут, иногда медь и молибден или флюорит. Эти важнейшие типы месторождений дают почти всю современную добычу урана. Ведущим промышленным типом месторождений тория являются современные и погребенные россыпи монацита.

Основным источником редких элементов — бериллия, лития, ниобия и тантала — являются пегматитовые жилы и Грейзеновые-зоны в гранитоидах. В них находятся совместно несколько редких элементов и, кроме того, иногда в извлекаемых количествах содержатся вольфрамит, молибденит, а в грейзенах — касситерит. Таким образом, редкометальные пегматиты обычно являются источником комплексных руд.

Прибрежно-морские россыпи с цирконом, монацитом и рутилом представляют собой главный промышленный тип редкоземельных месторождений, который дает большую часть добываемого в мире циркония, редкоземельных элементов и, кроме того, золото, ильменит и касситерит.

Пластообразные залежи в стратифицированных щелочных интрузивных массивах с лопаритом и редкоземельными минералами составляют важнейший промышленный тип месторождений редких элементов.

К перспективному промышленному типу месторождений ниобия и редких земель относятся крупные массивы карбонатитов.

Руды индустриального сырья исключительно многообразны. Они являются источником минерального сырья многих отраслей промышленности. Соответственно данная группа состоит из промышленных типов различных минеральных месторождений, из которых лишь отдельные приводятся здесь в качестве примеров.

Графитизированные угольные пласты среди метаморфических толщ представляют промышленный тип графитовых месторождений, характеризующихся скрыто кристаллическим состоянием полезного минерала. Жилы и линзы кристаллического графита являются другим промышленным типом этого полезного ископаемого, составляющим вместе с первым основные ресурсы графита в мире, используемого в нескольких отраслях промышленности.

Крупные жилые зоны хризотил-асбеста в серпентинитах (рис. 5) и жилы антофиллит-асбеста среди метаморфических толщ принадлежат к двум различным промышленным типам месторождений асбеста. Эти два промышленных типа дают все минеральное сырье как для асботекстильной промышленности, так и для производства различного рода огнестойких изделий и изготовления улучшенных строительных материалов.

Ведущие промышленные типы месторождений слюды представлены пегматитовыми жилами с мусковитом и жилами или гнездами флогопита в гнейсах и кристаллических доломитах.

Для месторождений алмазов характерны два промышленных типа: 1) россыпи и 2) кимберлитовые трубки. В СНГ преобладают месторождения второго типа.

Промышленные месторождения оптических минералов образуют несколько типов. Наибольшее значение имеют: кварцевые жилы в массивах гранитоидов и среди кварцитов (рис. 6), гнезда флюорита и исландского шпата в пустотах карбонатных горных пород.

Руды для химической промышленности заключены в нескольких промышленных типах крупных месторождений солей и фосфатов. В эту группу входят также многие менее значительные типы месторождений стронция, бора, серы, барита, селитры, квасцов и др

Важнейшими промышленными типами месторождений, обеспечивающими сельское хозяйство натуральными удобрениями,

являются крупные плитообразные и линзообразные апатит-нефелиновые тела, залегающие среди массивов щелочных кристаллических горных пород, и пластовые залёзки фосфоритов в свитах осадочных пород. Эти два типа месторождений обеспечивают почти всю мировую добычу фосфатных удобрений.

Среди множества месторождений ископаемых солей выделяются два промышленных типа: 1) мощные свиты пластов калийных и магнезиальных солей в песчано-глинистых отложениях, с которыми связаны рассеянные элементы (бром, рубидий и др.), 2) штокообразные и линзообразные деформированные пластовые залежи калиевых и натриевых солей в сложнодислоцированных осадочно-метаморфических толщах.

Строительные и флюсовые материалы заключаются в массивах и толщах как изверженных, так и осадочных горных пород, пригодных для выработки строительных элементов, гончарно-черепичного производства и производства цемента или для добавок в металлургическом процессе. Для тех и других целей используются в основном пески, глины, известняки, доломиты, ломаные камни, но с несколько

Важнейшими промышленными типами месторождений этой группы являются: 1) пласты глин; 2) пласты и линзы кварцевых песков; 3) пласты сливных кварцитов; 4) пласты и массивы известняков; 5) пласты и линзы доломита; 6) пласты и линзы магнезита; 7) линзообразные залежи мела 8) пласты гипсов

Эти промышленные типы дают огромные массы минерального сырья и обладают практически неисчерпаемыми запасами его в недрах. Нередко можно встретить комплексные месторождения строительных материалов, когда на одном и том же участке сосредоточены ископаемые, относящиеся к разным промышленным типам. Кроме перечисленных важнейших промышленных типов месторождений строительных материалов имеются и другие типы месторождений, используемых в современной строительной и металлургической промышленности. Таковы, например, месторождения облицовочного камня (мраморов, туфов, гранитов, габбро, порфиринов) или формовочных материалов для литейного производства и т. п.

ЖИДКИЕ И ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ.

Подземные воды как месторождения полезных ископаемых можно подразделить на три промышленных типа: 1) грунтовые воды, залегающие неглубоко от дневной поверхности; 2) артезианские воды, залегающие в дислоцированных толщах, обычно на больших глубинах; 3) минеральные воды преимущественно трещинного происхождения, образующие целебные источники. Грунтовые воды занимают обширные площади среди осадочных отложений, их ресурсы оцениваются по величине речного стока, обычно различного в разных частях региона (рис. 7). Артезианские воды приурочены к скальным породам, но иногда встречаются и среди рыхлых четвертичных отложений. Последний промышленный тип — минеральные воды —

слагается из нескольких подтипов, различаемых по составу растворенных в воде элементов и соответственно имеющих разное назначение.

Рассолы, служащие источниками получения легко растворимых природных солей и других соединений, используются промышленностью в ограниченных масштабах. Они могут быть подразделены условно на два промышленных типа: 1) рассолы пересыщенных водоемов (высыхающие озера); 2) подземные рассолы, содержащие галоидные и сульфатные соединения.

Нефть находится в различных природных средах и ее месторождения отличаются многообразием форм, условий залегания и качества. Важнейшими промышленными типами нефтяных месторождений являются две группы, существенно различающиеся по условиям залегания: 1) нефтяные залежи в пологих слоистых структурах слабо деформированных свит песчано-глинистых отложений, преимущественно на платформах; 2) нефтяные залежи в интенсивно дислоцированных с разрывами осадочно-метаморфических толщах, в складчатых областях. Последние преобладают в Бакинской нефтеносной области. Там наиболее крупные месторождения нефти связаны с различными складками. Среди них многие месторождения осложнены разрывными нарушениями (рис. 8); меньшее значение имеют месторождения нефти, связанные с моноклинальным спокойным залеганием слоев.

Газы, заключенные в земной коре, разнообразны — от простейших элементарных газов до сложных газообразных органических соединений. На современном уровне развития техники промышленными являются только горючие газы, которые принадлежат к двум основным промышленным типам: 1) чисто газовые месторождения в разнородных по проницаемости осадочных толщах; 2) газонефтяные месторождения, где газ содержится или в смешанном с нефтью состоянии или отдельно в пределах газонефтеносной геологической структуры.

ПРИЛОЖЕНИЕ

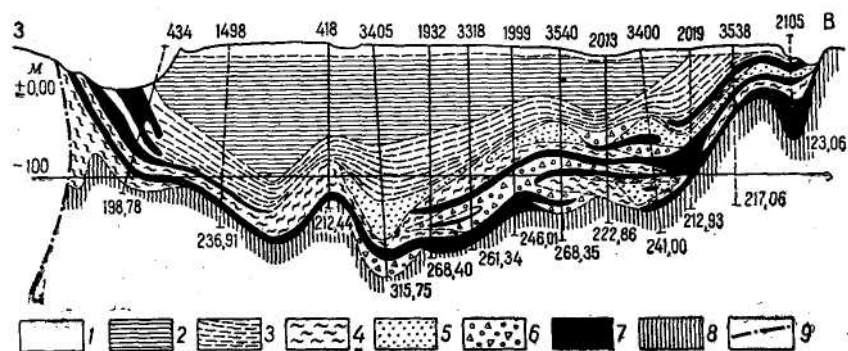


Рис. 1. Геологический разрез Восточно-Ингулецкой синклинали в Криворожье (по Я. Н. Белевцеву)

1 — третичные и четвертичные отложения; 2 — углистые кварц-серицитовые сланцы; 3 — охристые кварц-серицитовые сланцы; 4 — магнетит-силикатные сланцы; 5 — метапесчаники и кварциты; 6 — брекчии и конгломераты; 7 — железорудные залежи; 8 — железистые роговики и джеспилиты; 9 — тектонические нарушения. Цифры у скважины: сверху — № скважины, внизу — глубина скважины

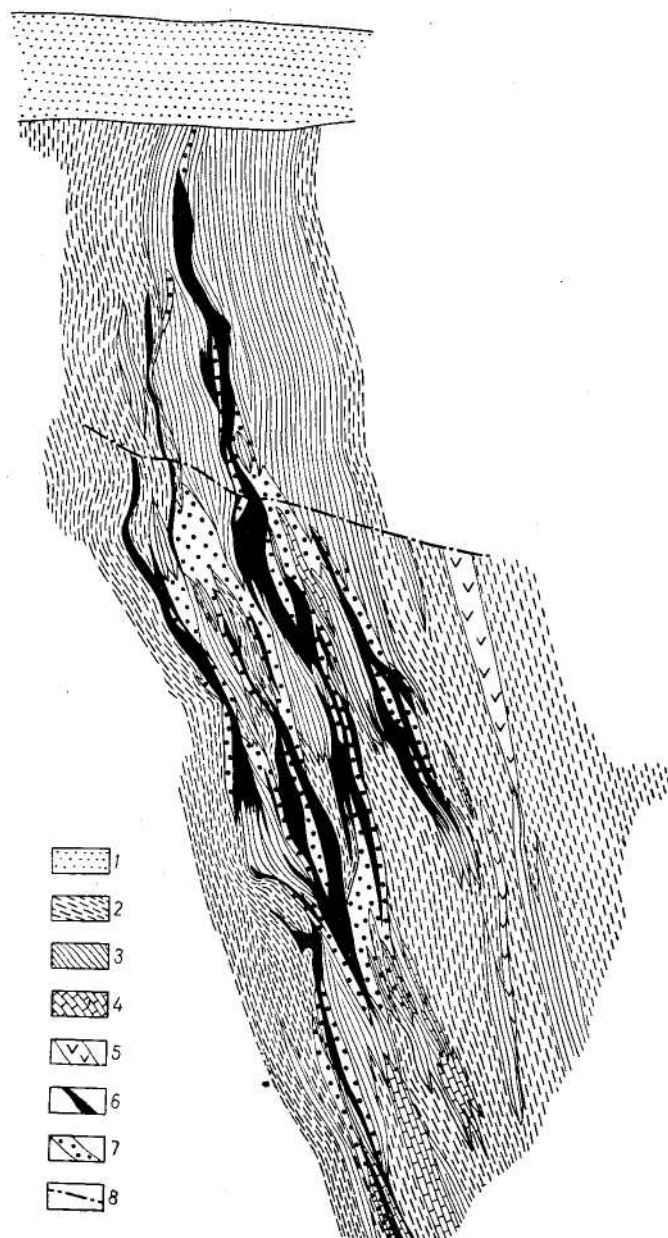


Рис. 2. Геологический разрез Березовского полиметаллического месторождения (по материалам Березовского рудника)

1 — современные отложения; 2 — углисто-глинистые и хлоритовые сланцы; 3 — серицит-хлоритовые сланцы; 4 — известняки; 5 — рассланцованные диабазы и порфиры; 6 — массивные сульфидные руды; 7 — вкрапленные сульфидные руды; 8 — тектонические нарушения



Рис. 3. Схематическая геологическая карта меднорудного штока Кальмакыр (по З. А. Васильевой)

1 — кварцевые порфиры; 2 — известняки; 3 — сиенит-диориты; 4 — сиениты;
5 — гранодиорит-порфиры; 6 — габбро; 7 — липаритовые порфиры;
8 — разломы дорудные; 9 — альпийские сбросы; 10 — кварцевые щили;
11 — рудное тело

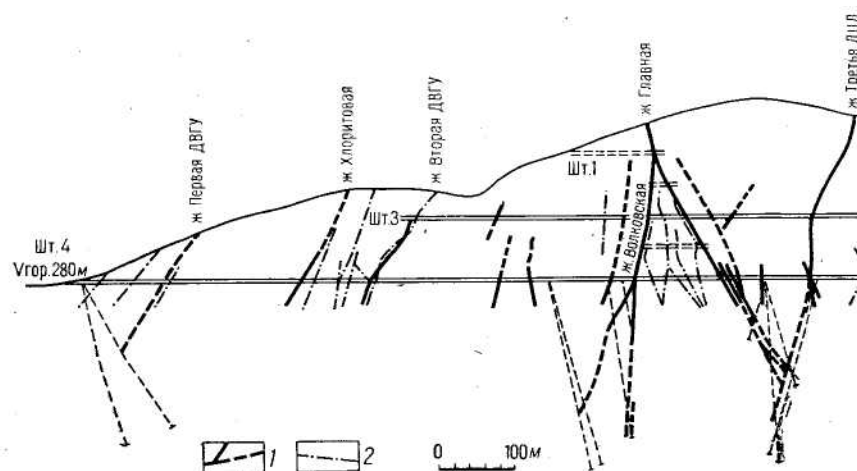


Рис. 4. Разрез по оси штольни 4 на оловянно-полиметаллическом месторождении Хрустальном

(по В. П. Полохову)

1 — рудные жилы; 2 — тектонические нарушения

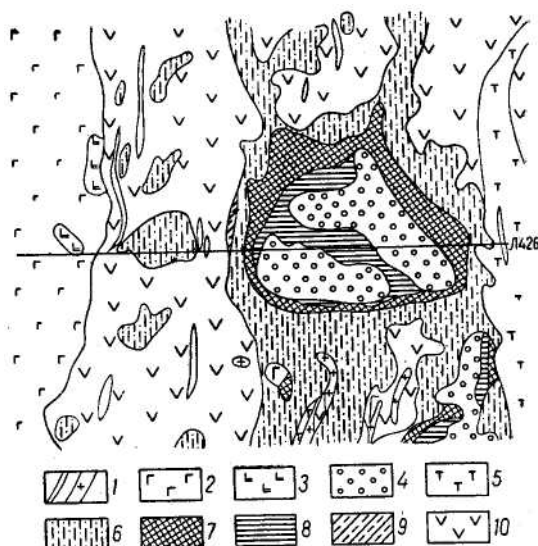


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Северного участка Баженовского месторождения асбеста (по П. М. Татарину).

1 — дайки аплитов и диоритов; 2 — габбро; в — пи-роксениты; 4 — перидотиты; 5 — тальковые породы; 6 — серпентиниты с прожилками асбеста; 7 — серпентиниты с мелкой сеткой асбестовых прожилков; в — перидотиты с «отороченными жилами» асбеста; 9 — серпентиниты рассланцованные с асбестом; 10 — серпентиниты массивные

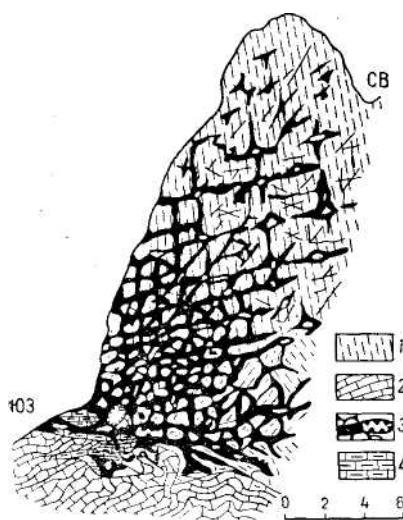


Рис. 6. Обнажение штокверкообразного кварц-хрусталеносного тела Памирского месторождения горного хрусталя (по А. И. Захарченко)

1 — кварцитовидный песчаник; 2 — мрамор; 3 — жильный кварц с хрусталеносными погребями и занорышами; 4 — анкерит

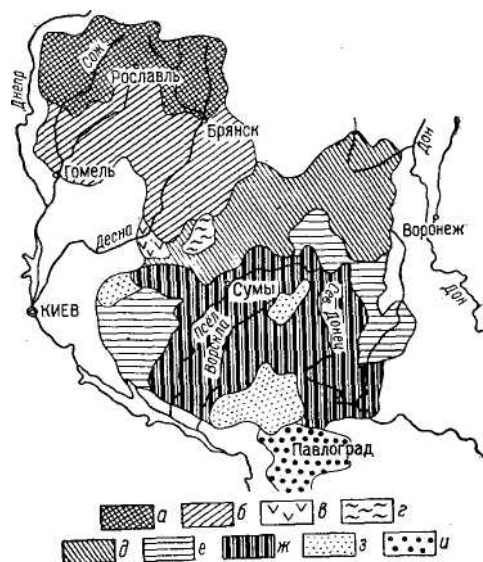


Рис. 7. Карта грунтового стока в реки на территории Днепро-Донецкой впадины (по П. П. Климентову)

Средний годовой сток (в мм слоя): а — более 80; б — от 80 до 70; в — от 70 до 60; г — от 60 до 50; э — от 50 до 40; е — от 40 до 30; ж — от 30 до 20; а — от 20 до 10; и — менее 10

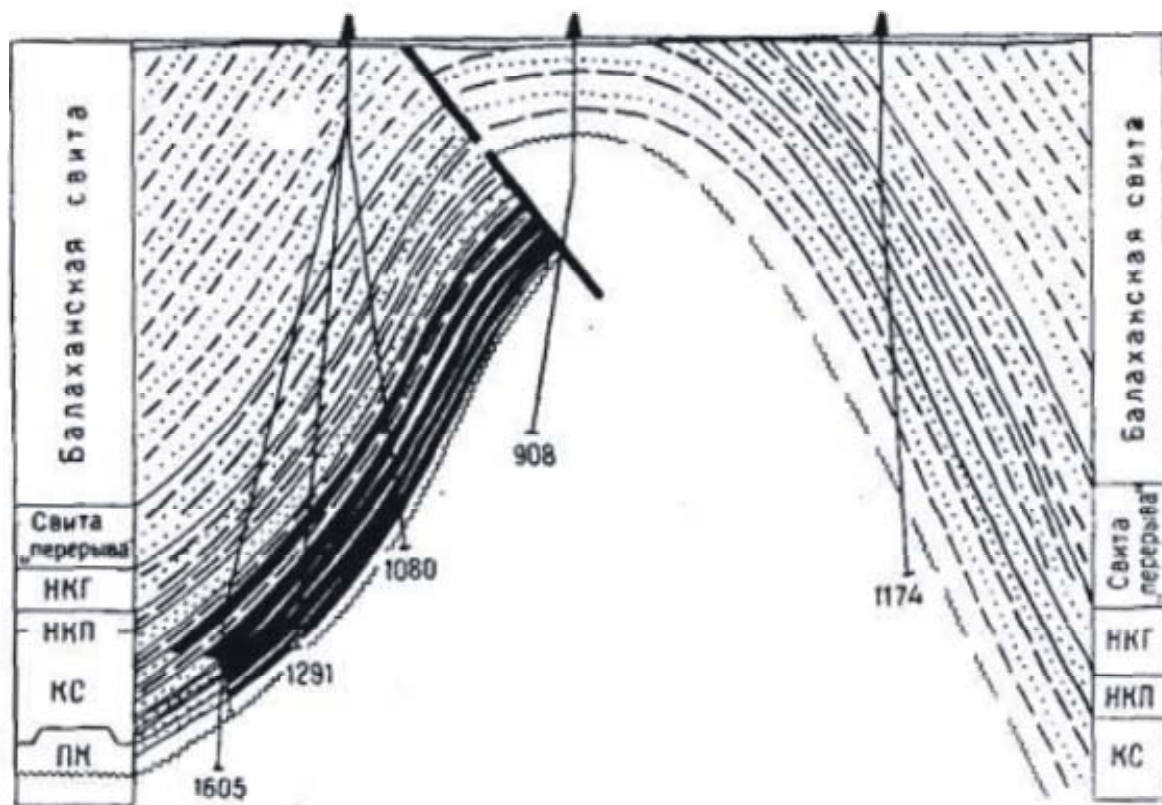


Рис.8 Месторождение нефти Дарвина с глубоко размытой продуктивной свитой в своде антиклинальной структуры, осложненное разрывным нарушением. (по Б. К. Бабазаде)

ПЛОЩАДИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И МОРФОЛОГИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Площади распространения полезных ископаемых охватываются понятиями: 1) провинция полезных ископаемых, 2) область (пояс, бассейн) полезных ископаемых, 3) район (узел) полезных ископаемых, 4) поле полезных ископаемых, 5) месторождение полезных ископаемых, 6) тело полезных ископаемых. Этот перечень составлен от наибольших к наименьшим территориям размещения полезных ископаемых.

Провинция полезных ископаемых представляет собой крупный участок земной коры, относящийся к платформе или складчатому геосинклинальному поясу, с размещенными в его пределах и свойственными ему месторождениями. Например, выделяют Уральскую провинцию, Кавказскую провинцию, провинции Русской и Сибирской платформ и т. п. В связи с дифференциацией науки о полезных ископаемых по видам минерального сырья иногда выделяются провинции металлогеническая, угленосная и нефтегазоносная. Среди металлогенических отмечаются провинции допалеозойских платформ, каледонских, герцинских, мезозойских и альпийских складчатых поясов. Угленосные провинции, или площади, разделяются по основным эпохам массового угленакопления на карбоно-вые, пермско-юрские, верхнемеловые — третичные и послетретичные (П. Степанов, 1937 г.). Нефтегазоносные провинции группируются в провинции внутриматериковых впадин, впадин краевых частей платформ, предгорных прогибов и периферических частей горных сооружений, межгорных впадин.

Область полезных ископаемых занимает часть провинции и характеризуется набором определенных по составу и происхождению месторождений полезных ископаемых, приуроченных к одному или группе тектонических элементов первого порядка, определяющих геологическое строение территории провинции (антиклинории и синклинории, внутренние и периферические зоны геосинклиналей, срединные массивы, наложенные мульды, краевые прогибы, щиты, синеклизы и др.). В связи с тем, что в складчатых сооружениях эти тектонические элементы, контролирующее положение областей полезных ископаемых, обычно имеют линейно вытянутый характер, распределение месторождений в их пределах приобретает поясовый характер.

Пояса полезных ископаемых могут быть разными по составу. Выделяются металлогенические, или рудные, пояса, пояса угленакопления и нефтегазоносные пояса. Следует отметить, что в данном случае речь идет не о таких грандиозных поясах, как Монголо-Охотский пояс А. Ферсмана, Тихоокеанский пояс С. Смирнова или карбоновый пояс угленакопления П. Степанова, охватывающие целые секторы земного шара и относящиеся в сущности к линейно вытянутым провинциям полезных ископаемых. Размеры

поясов колеблются в широких пределах. Так, полиметаллический пояс Рудного Алтая вытянут в длину на 300 км при ширине около 40 км, Яно-Индигино-Колымский золотоносный пояс имеет длину около 1000 км при ширине 60—100 км, рудный пояс Кордильер достигает длины более 2500 км при ширине свыше 100 км.

Области непрерывного или почти непрерывного распространения Пластовых осадочных полезных ископаемых нередко приобретают характер бассейнового размещения месторождений.

Бассейны полезных ископаемых свойственны месторождениям нефти (Волго-Уральский, Западно-Сибирский, Днепровско-Донецкий и др.), угля (Кузнецкий, Донецкий, Подмосковский и др.), нерудных полезных ископаемых (соляные бассейны Артемовско-Славянский, Соликамский, Иркутский, Стассфуртский и др.), рудных месторождений (Криворожский железорудный, Никопольский марганцовый и др.). Площади бассейнов полезных ископаемых различны и измеряются от нескольких сотен (Криворожский бассейн) до нескольких сотен тысяч квадратных километров (Тунгусский угольный бассейн Сибири или Западный и Восточный бурогольные бассейны внутренней части территории США).

Район полезных ископаемых составляет часть области и обычно характеризуется местным сосредоточением месторождений. В связи с последним обстоятельством он нередко называется узлом полезных ископаемых. Рудные узлы и узлы угленакопления с той или иной степенью отчетливости выделяются на общем фоне рудоносных и угленосных областей. Площади рудных узлов достигают сотен и первых тысяч квадратных километров; площади узлов угленакопления имеют большие размеры. Примером рудных узлов могут служить 29 узлов полиметаллических месторождений, выделенных С. Смирновым на территории Восточного Забайкалья.

Рудное поле представляет собой группу месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством геологической структуры. Площади рудных полей обычно имеют размер от нескольких до десятков квадратных километров. Поля полезных ископаемых состоят из месторождений, а последние из тел полезных ископаемых.

Телом, или залежью, полезного ископаемого называется ограниченное со всех сторон скопление природного минерального сырья, приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или комбинации таких элементов.

Области, районы, поля, месторождения и тела полезных ископаемых могут полностью обнажаться на поверхности земли и относиться к открытым, быть частично закрытыми перекрывающими их породами и принадлежать к полужакрытым или быть полностью погребенными и квалифицироваться как закрытые. Среди закрытых, или слепых, групп месторождений полезных ископаемых выделяются нескрытые, до которых не дошел уровень эрозионного среза после их образования, и перекрытые,

которые были образованы на поверхности Земли или вскрыты в прошлые геологические времена эрозией, а затем погребены под толщей более молодых отложений.

МОРФОЛОГИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для месторождений твердых полезных ископаемых могут быть выделены три морфологических типа залежей: изометричные, плоские и вытянутые по одному направлению.

Изометричные тела полезных ископаемых представляют собой скопления минерального вещества, примерно равновеликие во всех измерениях. К ним принадлежат штоки, штокверки и гнезда.

Штоком называется крупная более или менее изометричная залежь сплошного или почти сплошного минерального сырья. Примером могут служить штоки каменной соли, гидротермальные метасоматические рудные залежи и др. (рис. 1).

Штокверк представляет собой более или менее изометричный объем горной породы, пронизанный мелкими жилками и насыщенный вкрапленностью минерального вещества; такая горная порода с прожилками и вкраплениями ценных минералов добывается целиком как полезное ископаемое. Примером штокверков могут быть тела некоторых месторождений меди, олова, молибдена, асбеста и других полезных ископаемых (рис. 2).

Гнездом называется относительно некрупное локальное скопление полезного ископаемого. Подобную форму имеют тела некоторых месторождений золотых, свинцово-цинковых, хромитовых, ртутных и других руд (рис. 3). Основным элементом, определяющим размеры и форму изометричных тел, является их поперечное сечение.

Плоские тела полезных ископаемых характеризуются двумя протяженными и одним коротким размером. Их представителями являются пласты и жилы.

Пласты наиболее типичны для осадочных месторождений руды, угля и нерудных полезных ископаемых. Метасоматические тела, развивающиеся по отдельным пластам в толщах осадочных пород, приобретают характер пластообразных залежей. Пласт полезного ископаемого иногда разделяется на пачки, разобщенные прослоями породы; пачки в свою очередь могут распадаться на слои (рис. 4). В соответствии с этим различают пласты простые (без прослоев породы) и сложные (с прослоями породы).

Основными элементами, определяющими геологическую позицию и размеры пластов, являются направление простирания и длина по простиранию, направление падения, угол падения и длина по падению и, наконец, мощность пласта. Обычно пластовые залежи имеют большую длину, достигающую, например в Донецком бассейне, нескольких десятков километров. По падению некоторые пласты, например золотоносных конгломератов Витватерсранда в Южной Африке, разрабатываются до

глубины более 2 км. Мощность пластов полезных ископаемых изменяется от едва заметных пропластков до нескольких сотен метров. Так, мощность рабочих пластов угля в Донбассе обычно лежит в пределах 0,45—2,5 м (средняя 0,7 м), пластов бурых углей третичных бассейнов Южного Урала достигает 150 м, а залежи соли в Соликамске на Урале до 500 м.

Тонкие пласты полезных ископаемых не разрабатываются. Поэтому, помимо геологического определения мощности, существует промышленное понятие о мощности пластов полезных ископаемых. Рабочей мощностью считается минимальная мощность, при которой пласт целесообразно эксплуатировать. Для углей она колеблется от 0,10 до 1,0 м. Эксплуатационной называется суммарная мощность полезного ископаемого и прослоев породы для рабочей части пласта. Полезная мощность определяется как сумма мощностей пачек полезного ископаемого, извлекаемых при добыче из пласта.

Месторождения пластовой формы бывают однопластовыми и многопластовыми. В последнем случае выделяется продуктивная толща пород, заключающая серию пластов полезных ископаемых. Количество таких пластов в продуктивной толще может быть различно. Так, количество рабочих пластов в Подмосковном бассейне достигает только 2, в Донбассе около 100, а в Верхнесилезском 140. Богатство продуктивной толщи определяется коэффициентом продуктивности — отношением суммарной мощности пластов полезного ископаемого к общей мощности толщи.

Жилы — это трещины горных пород, выполненные минеральным веществом полезного ископаемого. Жилы бывают простые и сложные. К простым жилам относятся одиночные минерализованные трещины; к сложным — пучки переплетающихся трещин, зон дробления или расланцевания (рис. 5). По деталям морфологии среди жил выделяются четковидные, камерные, седловидные, лестничные и оперенные. Четковидная жила характеризуется чередованием в ее плоскости раздувов и пережимов, иногда переходящих в тонкие проводники. Камерная жила отличается еще более резкими раздувами, которые в форме крупных скоплений как бы нанизаны на жильный шов. Седловидные жилы образуются при скоплении вещества полезного ископаемого в шарнирах складок. Лестничные жилы выполняют поперечные трещины в пластах или дайках хрупких пород, залегающих среди более пластичных образований.

Среди месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых (нефть, вода, горючий газ) в соответствии с классификацией И. Брода (1951 г.) по морфологическим признакам могут быть выделены залежи пластовые, массивные и линзовидные.

Пластовые залежи жидких и газообразных полезных ископаемых приурочены к пласту-коллектору проницаемых пород, заключенному среди непроницаемых или слабопроницаемых пластов, в той или иной степени тектонически дислоцированных (рис. 6). Такие залежи обычно являются наиболее крупными, достигая в длину по простиранию коллектирующего их

пласта более 80 км при ширине до 70 км (Ромашкинское месторождение Татарии).

Массивные залежи представляют собой скопления жидкости или газа в выступах проницаемых пород (структурных, эрозионных, рифовых), перекрытых плохо проницаемыми осадками (рис. 7). Они могут быть как некрупными, так и значительными по размерам, достигая 50 км (Ачалуки-Карабулак) и даже нескольких сотен кубических километров (Меджид Сулейман в Иране, Киркук в Ираке, Абкаик в Саудовской Аравии и др.).

Линзовидные залежи связаны с локальными зонами пористых и трещиноватых пород, ограниченных со всех сторон непроницаемыми породами (рис. 8).

ПРИЛОЖЕНИЕ

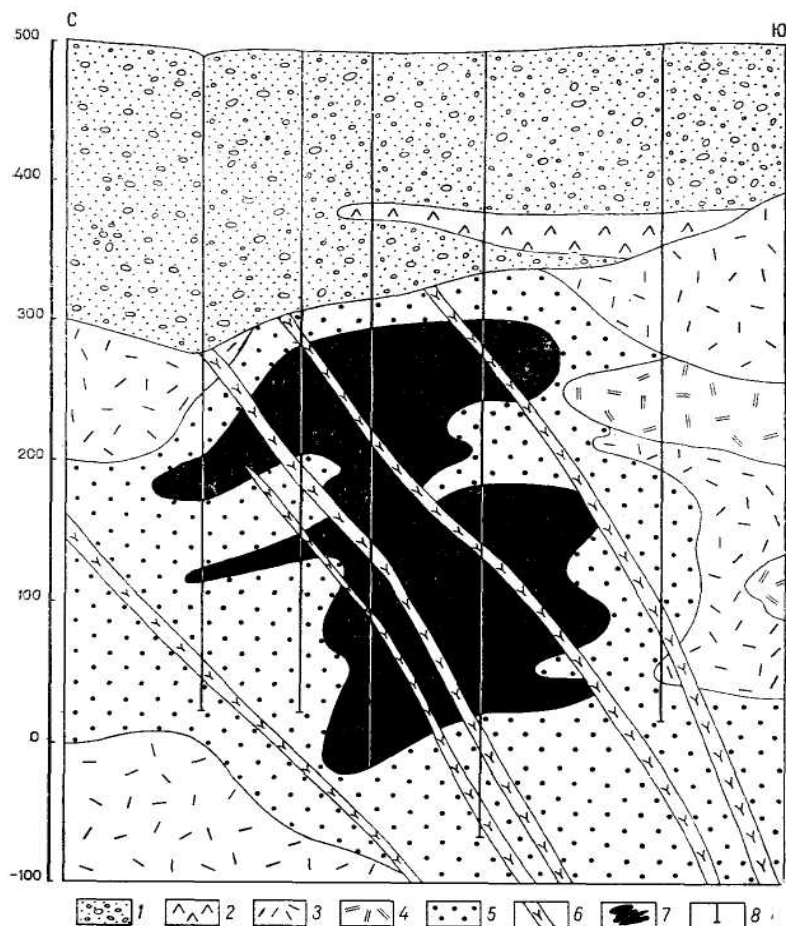


Рис. 1. Шток медносульфидной руды месторождения Цителсонельского. По В. Бачалдину и Ю. Назарову

1 — четвертичные рыхлые отложения; 2 — четвертичный лавовый поток; 3 — верхнемеловые туфы кварцевых альбитофиров; 4 — огипсованные туфы; 5 — вторичные кварциты; 6 — дайки кварцевых альбитофиров; 7 — рудное тело; 8 — буровые скважины.

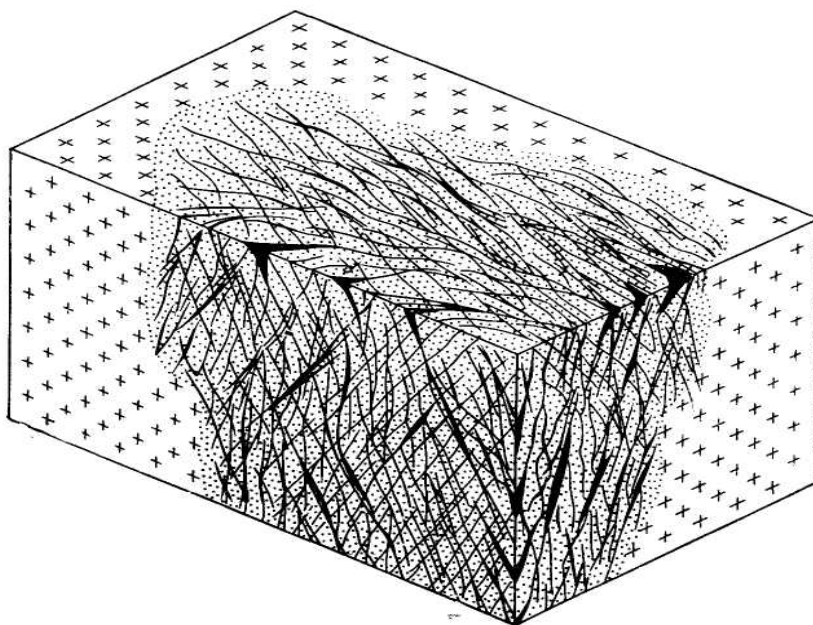


Рис 2. Штокверк.

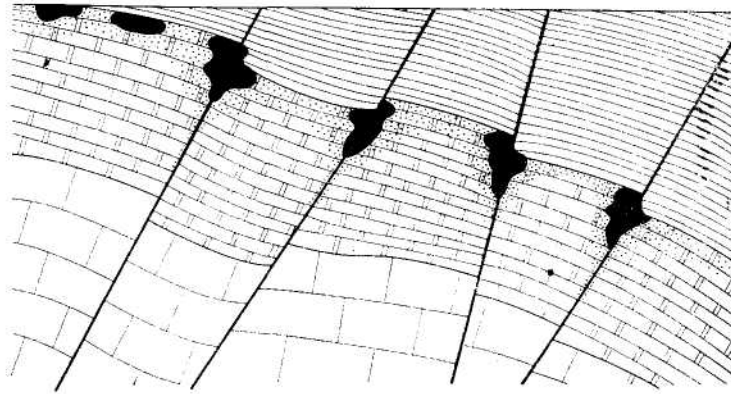


Рис. 3. Гнезда руды в минерализованной породе (разрез)

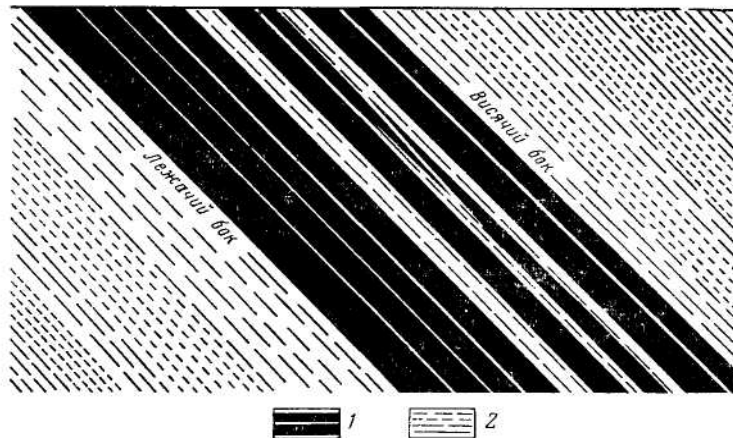


Рис. 4. Строение пласта полезного ископаемого (в разрезе)

1 — пачки и слои полезного ископаемого; 2 — прослои породы

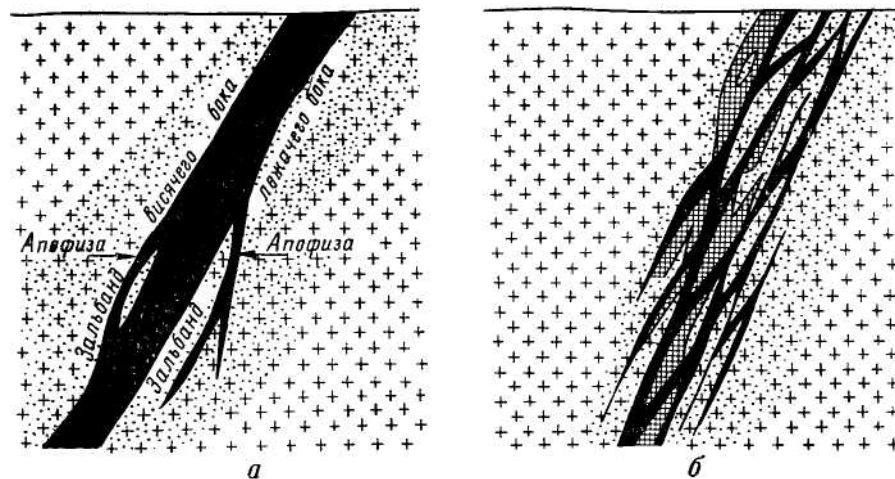


Рис. 5 Жилы

а — простая; б — сложная. Точками покрыта площадь измененных околожильных вмещающих пород.

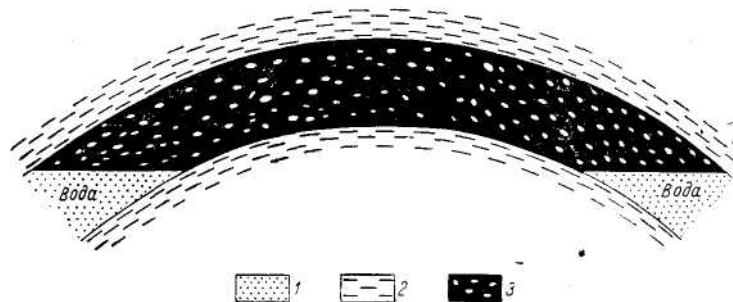


Рис. 6. Пластовая сводовая залежь нефти и газа. По И. Броду
 1 — пески; 2 — глины; 3 — нефтеносные пески

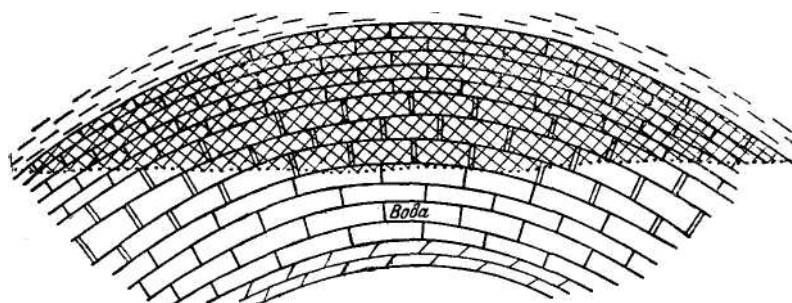


Рис. 7. Массивная залежь нефти или газа в структурном выступе. По И. Броду.
 1 — глины; 2 — известняки; 3 — доломиты; 4 — мергели; 5 — нефть или газ

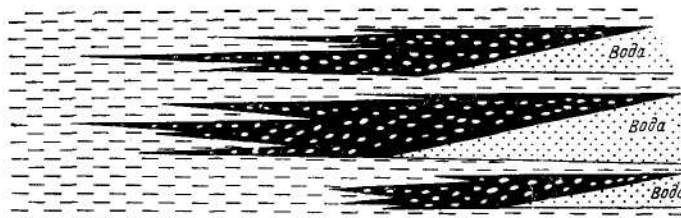


Рис. 8. Линзовидные залежи нефти или газа в пластах выклинивающихся песков среди сланцев. По И. Броду.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Месторождения полезных ископаемых формируются в процессе дифференциации минеральных масс при их круговороте в осадочном, магматическом и метаморфическом циклах образования горных пород и геологических структур. В соответствии с этим все месторождения полезных ископаемых разделяются на три крупные серии: седиментогенную, магматогенную и метаморфогенную.

СЕРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Седиментогенные, или поверхностные, гипергенные, или экзогенные, месторождения полезных ископаемых по условиям своего образования связаны с геохимическими процессами, протекавшими в прошлом и развивающимися в настоящее время на поверхности и в приповерхностной зоне Земли. Местом накопления минерального вещества служат: 1) поверхность планеты; 2) ее тонкая приповерхностная пленка, распространяющаяся до уровня грунтовых вод; 3) дно болот, рек, озер, морей и океанов. Седиментогенные месторождения формируются вследствие химической, биохимической и в меньшей степени механической дифференциации минеральных веществ, обусловленной в конечном счете внешней энергией Земли, основным источником которой является Солнце. Они образуются в результате изменения сформированных на глубине и выведенных к поверхности Земли массивов горных пород и залежей полезных ископаемых, а также вследствие концентрации новых масс минерального сырья при осадкообразовании. Дополнительным источником вещества может служить подводный и прибрежный вулканизм.

Изменение ранее создавшихся комплексов горных пород и глубинных месторождений происходит в зоне окисления, обусловлено химическим выветриванием и связано с образованием коры выветривания. В коре выветривания могут формироваться два типа месторождений: остаточные и инфильтрационные. Остаточные месторождения возникают в обстановке водно-воздушного окисления приповерхностной части земли вследствие выноса растворимых минеральных соединений и накопления труднорастворимого остатка, представляющего промышленную ценность. Инфильтрационные месторождения формируются при вторичном осаждении ценных растворенных веществ в нижней части зоны окисления и непосредственно ниже нее.

При физическом выветривании и связанном с ним механическом разрушении тел некоторых полезных ископаемых, в состав которых входят прочные и химически устойчивые минералы, образуются различные россыпные месторождения, или россыпи.

При химической, биохимической, механической и вулканогенной дифференциации минерального вещества в процессе накопления толщ осадочных пород возникают осадочные месторождения различных полезных ископаемых.

Таким образом, экзогенную серию составляют три группы месторождений: коры выветривания, россыпи и осадочные.

Магматогенные, или глубинные, гипогенные, или эндогенные, месторождения полезных ископаемых по условиям своего образования связаны с геохимическими процессами глубинных частей земной коры и более глубоких сфер. Местом их локализации служат глубинные геологические структуры, определяющие условия накопления минерального вещества, морфологию и строение тел полезных ископаемых. Эти месторождения создаются под воздействием внутренней энергии Земли в связи с магматическими процессами коры и более глубоких частей планеты.

Среди них выделяются магматические залежи полезных ископаемых, образовавшиеся при застывании тех фракций магматических расплавов, в которых сконцентрировались ценные минеральные соединения. Обособляются также своеобразные пегматитовые месторождения, представляющие собой застывшие на месте или выжатые в породы кровли остаточные магматические расплавы, подвергшиеся метасоматическому воздействию горячих минерализованных газо-жидких растворов магматогенного происхождения. В последнее время намечена группа карбонатитовых месторождений, связанных исключительно с ультраосновными щелочными интрузиями центрального типа. Выделены также контактово-метасоматические, или скарновые, месторождения, возникшие вследствие метасоматоза в области разогретых контактов остывающих массивов силикатных магматических пород и примыкающих к ним карбонатсодержащих осадочных или эффузивно-осадочных толщ. Представляется целесообразным наметить специфические альбититовые и связанные с ними грейзеновые месторождения, возникшие в апикальных частях массивов кислых и щелочных пород.

К магматогенным принадлежат гидротермальные месторождения, созданные в глубинах земной коры при отложении минерального вещества горячими газоводными растворами. Наконец, в настоящее время имеются основания выделить колчеданные месторождения, формировавшиеся в связи с вулканическими процессами ранней стадии геосинклинального режима.

Таким образом, эндогенную серию составляют семь групп месторождений: магматические, пегматитовые, карбонатитовые, скарновые, альбитито-грейзеновые, гидротермальные и колчеданные.

Метаморфогенные месторождения полезных ископаемых формировались при интенсивном преобразовании горных пород на значительной глубине от поверхности Земли. В этих условиях могли возникать новые метаморфические месторождения и глубоко изменяться старые с образованием метаморфизованных месторождений. Таким образом,

метаморфогенную серию составляют две группы месторождений: метаморфические и метаморфизованные.

Сводная генетическая классификация месторождений полезных ископаемых, принятая в данном курсе, приведена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что все полезные ископаемые разделяются на серии, серии — на группы, группы — на классы, иногда подклассы. Классы и подклассы в свою очередь могут подразделяться по минеральному составу на формации, представляющие собой наиболее дробную единицу классификации месторождений полезных ископаемых.

Большинство месторождений формировалось длительное время, иногда со сменой характера преобразования и накопления минерального вещества, в связи с чем местами приходится выделять сложные по генезису залежи полезных ископаемых, созданные в результате последовательно менявшихся процессов минералонакопления.

В природе не всегда существуют резкие границы между разными процессами образования месторождений полезных ископаемых. Поэтому, кроме вышеперечисленных основных генетических групп полезных ископаемых, выделяются переходные типы месторождений, занимающие промежуточное положение между основными.

Залежи полезных ископаемых всех трех серий — осадочной, магматогенной и метаморфогенной — могли быть сформированы синхронно с вмещающими их породами и тогда они называются сингенетичными. Если они образованы вследствие тех или иных геологических процессов в пределах ранее созданных горных пород, они называются эпигенетичными.

Определенным формациям горных пород свойственны соответствующие группы месторождений полезных ископаемых.

Формацией называется комплекс парагенетически связанных горных пород магматического, осадочного или метаморфического происхождения и ассоциированных с ним месторождений полезных ископаемых, обусловленных единством происхождения в определенных структурно-фациальных геологических условиях. Нижеприведенная краткая характеристика формаций магматических пород приведена с учетом работ Ю. Билибина, Ю. Кузнецова и других; перечень формаций осадочных пород соответствует данным В. Белоусова, Н. Щатского и Л. Рухина.

Металлогенией, или минерагенией, называется направление геологических исследований, изучающее закономерности пространственного формирования и размещения полезных ископаемых в земной коре в связи с историей ее геологического развития.

Условия образования месторождений полезных ископаемых, их минерагения различны для геосинклиналей и платформ.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЕОСИНКЛИНАЛЕЙ

На всем протяжении развития мобильных геосинклиналей и при их постепенном превращении в относительно стабильные складчатые

Провинции формируются эндогенные и экзогенные месторождения полезных ископаемых. Однако условия образования различных групп месторождений существенно отличаются на разных стадиях превращения геосинклиналей в складчатые области. В истории формирования складчатых областей на месте геосинклиналей Ф. Штилле, А. Архангельской и другие выделяют три главные стадии: раннюю, среднюю и позднюю.

Эволюцию магматизма и металлогении этих стадии наиболее глубоко исследовал Ю. Билибин.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЛАТФОРМ

На Земле известно восемь древних, допалеозойских платформ: Европейская, Сибирская, Северо-Американская, Бразильская (Южно-Американская), Африканская, Индийская, Китайская и Австралийская. В их строении различают три комплекса пород с соответствующими им группами месторождений полезных ископаемых: 1) основание, или нижний метаморфический ярус; 2) изверженные породы платформенного этапа; 3) чехол, или верхний ярус платформенных осадочных пород.

Нижний метаморфический ярус особенно отчетливо проявлен в щитах, представляющих собой крупные антеклизы, в пределах которых породы платформенного основания выдвинуты к поверхности земли. Метаморфические комплексы пород нижнего яруса и связанные с ними месторождения полезных ископаемых принадлежат архейской, протерозойской и рифейской эрам, охватывающим грандиозный интервал формирования земной коры — от 3500 до 650 млн. лет до н. э., что составляет три четверти времени, ушедшего на образование каменного панциря планеты. В архейскую эру преобладали палингенные магматические процессы, неблагоприятные для образования как магматогенных, так и осадочных полезных ископаемых. Поэтому для нее известны довольно редкие, преимущественно метаморфогенные месторождения железных и марганцевых руд, силлиманитовых, гранатовых и им подобных сланцев. Для протерозойской и особенно для рифейской эры ход формирования складчатых провинций на месте древнейших допалеозойских геосинклиналей близок к вышеописанным стадиям превращения пострифейских геосинклиналей в складчатые области палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Сформированные в это время месторождения полезных ископаемых имеют ту же природу, однако выявляемую с большим трудом из-за обычно высокой степени метаморфизма. Некоторая специфика этих древнейших образований будет рассмотрена в главе семнадцатой при характеристике металлогении.

Изверженные породы платформенного этапа развития образовали достаточно своеобразные группы месторождений полезных ископаемых. На площадях некоторых платформ в послепротерозойское или даже в послерифейское время имели место значительные тектонические деформации, магматические процессы и обусловленное ими оруденение. По степени такой пострифейской тектонической, магматической и металлогенической активизации древние платформы могут быть разделены на четыре группы: 1)

интенсивно активизированные, 2) активизированные, 3) слабо активизированные, 4) неактивизированные.

Интенсивно активизированные платформы довольно редки. К ним относится восточная часть Китайской платформы, сильно деформированная и проплавленная гранитными интрузиями вследствие энергичных иеншанских тектонических движений в конце юры и в начале нижнего мела. С этими платформенными иеншанскими гранитами связаны гидротермальные месторождения руд олова, вольфрама, свинца и цинка.

Активизированные платформы встречаются чаще. К ним принадлежат Балтийский щит Европейской платформы, Сибирская и Африканская платформы. Эти платформы в послерифейское время раскалывались глубокими разломами, по которым внедрялись магмы разного состава и формировались ассоциированные с ними эндогенные месторождения платформенного периода. Магматизм и рудообразование таких активизированных платформ различны для областей их поднятий и прогибов. В областях прогибов с платформенным основанием, перекрытым слоистыми толщами синеклиз или грабенов, происходили внедрения по преимуществу габброидных пород. С наиболее дифференцированными массивами этих пород связаны магматические сульфидные медно-никелевые месторождения, скарновые и гидротермальные месторождения железной руды. В областях воздыманий активизированных платформенных оснований преобладали кислые интрузии иногда с повышенной основностью и щелочностью. Этим интрузиям свойственны магматические месторождения фосфора, тантало-ниобиевых и редкоземельных руд, а также в меньшей степени гидротермальные месторождения золота, иногда свинца;] и цинка. Вдоль стыка областей платформенного прогибания и воздымания, а также по окраинам платформ, обычно по крупным разломам, внедрялись производные перидотитовой магмы, представленные алмазоносными кимберлитами и ультраосновными щелочными интрузивными комплексам» центрального типа с карбонатитами.

Слабоактивизированные платформы представлены южной частью Северо-Американской платформы. Здесь нет изверженных пород, но о металлогенической активизации основания этой платформы свидетельствуют распространенные в палеозойских породах осадочного чехла известные свинцово-цинковые месторождения долины рек Миссисипи и Миссури, которые многими геологами рассматриваются как телемагматические образования.

Неактивизированные платформы представлены центральной и южной частями Европейской платформы, а также значительной площадью Бразильской и Австралийской платформ (с кайнозойскими базальтами Австралии не связано никакое оруденение). В их пределах не обнаружено эндогенных месторождений платформенного периода.

Верхний ярус платформенных чехлов, сложенных сравнительно маломощными и слабодислоцированными осадочными, реже эффузивно-

осадочными породами, характеризуется серией континентальных формаций и свойственных им месторождений полезных ископаемых. Среди таких формаций выделяются: песчано-глинистая, битуминозная, кварц-песчаная, карбонатная.

Песчано-глинистая формация широко распространена на платформах; с ней связаны месторождения углей, огнеупорных глин, бокситов, железных и марганцевых руд.

Битуминозная формация сложена в основном углеводород-содержащими черными сланцами, переходящими местами в горючие сланцы и нефтематеринские породы.

Кварц-песчаная формация сложена толщами кварцевых песков однообразного состава; местами она переходит в кварц-глауконит-фосфоритовую субформацию; с ней связаны месторождения кварцевых песков, глауконита и желваковых фосфоритов.

Карбонатная формация сложена преимущественно чистыми или доломитизированными известняками, переходящими местами в гипс-доломитовую субформацию; с ней связаны месторождения известняков, доломитов, мергелей и гипсов.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОКЕАНОВ

В настоящее время со дна морей и океанов добывается значительное количество нефти, природного газа, алмазов и других драгоценных камней, золота, платины, меди, кобальта, никеля, редких металлов, марганца, железа и др., а также строительных материалов. Однако освоение подводных богатств еще только начинается. Интенсивно изучаются геология, закономерности пространственного распределения, поисковые признаки месторождений полезных ископаемых, а также разрабатываются методы и технические средства поисков, разведки и промышленного освоения месторождений. Эти месторождения с некоторой условностью целесообразно разделить на следующие группы:

- прибрежно-морские;
- месторождения, расположенные в недрах земли, на территории, занятой морями и океанами;
- глубоководные месторождения морского дна.

Прибрежно-морские месторождения представлены россыпями химически устойчивых тяжелых минералов: рутила, циркона, ильменита, монацита, платиноидов, золота, касситерита, алмаза и др.

Выделяются три группы минералов, отличающихся по условиям переноса, отложения и особенностям пространственного размещения.

К первой группе относятся тяжелые минералы, характеризующиеся низкой миграционной способностью. Это золото, платиноиды, касситерит и др., имеющие плотность выше 7 г/см^3 и сравнительно небольшую механическую устойчивость. Россыпи этих минералов расположены не далее 20—30 км от коренного источника.

Вторую группу составляют механически устойчивые минералы с плотностью 4—7 г/см³: магнетит, хромит, монацит, циркон, ильменит, рутил; они могут располагаться в десятках и даже сотнях километров от коренного источника.

К третьей группе относятся особенно механически устойчивые минералы с плотностью ниже 4 г/см³: алмаз, сапфир, рубин, шпинель и т. п. Скопления таких минералов могут находиться на расстоянии многих сотен километров от коренного источника.

Пространственное положение прибрежно-морских россыпей определяется также геологическими, геоморфологическими и гидродинамическими факторами.

При изучении геологической обстановки важно установить источники сноса полезных минералов, степень их перспективности, особенности неотектонических движений, климатические условия и т. п.

Геоморфологические условия во многом определяют морфологию россыпей и их строение. Поэтому необходимо выяснять геоморфологические особенности прилегающей к акватории суши и прибрежной зоны, а также характер подводных форм рельефа.

Большое значение в формировании, размещении и динамике прибрежно-морских россыпей имеют гидродинамические условия, в частности, особенности и режим морских течений, характер и степень волнений и т. п.

Поиски таких месторождений начинаются с геологического и геоморфологического изучения прилегающей к акватории суши. Эти исследования выполняются обычными наземными способами; выявляются и используются изложенные выше поисковые предпосылки и признаки. Важное значение при этом имеет аэрофотосъемка, с помощью которой могут быть изучены не только формы рельефа суши, но и поверхность мелководной прибрежной части (при благоприятных условиях до глубины 20 м).

Ведущим методом поисков является шлиховая съемка. Прежде всего опробуются места скопления шлиховых минералов в прибрежной части суши: русла, долины, террасы рек, ручьев, а также морские террасы, пляжи и др. Эти исследования наряду с геологическими, геоморфологическими и гидродинамическими материалами дают возможность составить обоснованный прогноз о возможном наличии и даже о масштабе прибрежных и подводных россыпных месторождений.

Шлиховое опробование подводных прибрежных отложений вначале осуществляется с помощью легких технических средств: дночерпателей, всасывающих и комбинированных пробоотборников и др. При благоприятных условиях проходка скважин с целью поисков может выполняться со льда станками ударного или вращательного бурения. В случае положительных результатов опробования одновременно со сгущением сети скважин должны изучаться следующие важные вопросы: рельеф морского дна, состав, строение и мощность рыхлых отложений различного гранулометрического и минерального состава, характер рельефа коренных

пород и др. Эти задачи могут быть выполнены рациональным комплексом геофизических методов в сочетании с бурением скважин.

В результате выполнения перечисленных исследований дается перспективная оценка выявленных россыпных месторождений или рудопроявлений.

Месторождения, находящиеся в недрах под дном морей и океанов, могут быть представлены каустобиолитами (нефтью, газом, ископаемым углем), а также рудными и нерудными ископаемыми. Поиски таких месторождений значительно осложняются по сравнению с сухопутными поисками. Наличие водного покрова и недоступность непосредственного изучения земной поверхности во многом осложняют применение технических средств и выдвигают новые методические задачи.

Наряду с бурением скважин особенно большая роль в этих условиях принадлежит геофизическим методам: сейсмометрии, магнитометрии, гравиметрии, радиометрии и электрометрии. Однако одним из ведущих следует считать метод звуковой геолокации. Наиболее широко метод звуковой геолокации применяется на акваториях для непрерывного изучения разреза донных отложений и подстилающих коренных пород. С помощью геолокационной аппаратуры закартированы многие подводные нефтегазоносные, солянокуиольные структуры Северного и Каспийского морей и шельфа японских островов. Имеется опыт поисков методом геолокации подводных залежей каменного угля, железных руд, и касситеритовых россыпей, а также песчано-гравийных залежей. При этом объем поискового бурения сокращается в несколько раз.

Изучение и освоение глубоководных месторождений, представленных железистыми, марганцевыми конкрециями[^] отложениями желтых, красных, синих глин, содержащими сульфиды меди, цинка, а также золото и серебро (Красное море, Атлантический океан и др.). только еще начинается.

В настоящее время осуществляются мелкомасштабные исследования геологического строения дна океанов с помощью таких кораблей, как «Витязь», «Дмитрий Менделеев», «Гломар Челленджер» и др., создаются подводные станции типа «Черномор» и др. Эти исследования проводятся с помощью геофизических и геохимических методов, эхолотов, подводного фотографирования и т.д.

ПРИЛОЖЕНИЕ

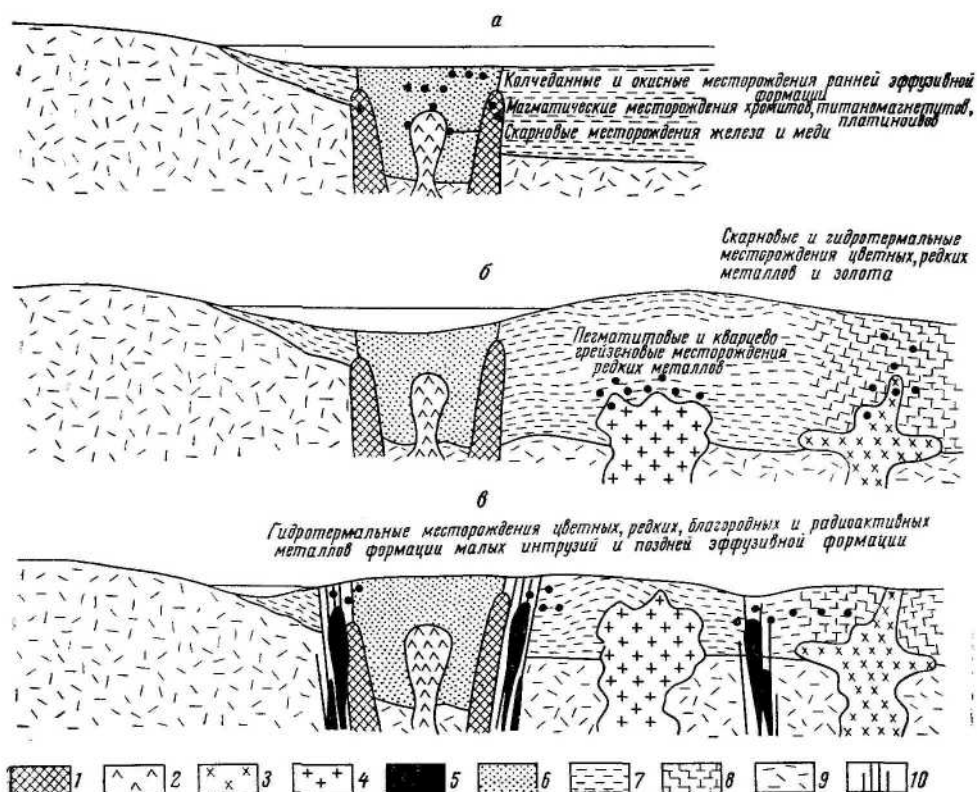


Рис. 1. Схема расположения магматических формаций и связанных с ними месторождений полезных ископаемых ранней (а), средней (б) и поздней (в) стадии геосинклинального развития.

1 — формация перидотитовых и габбро-пироксенит-дунитовых пород с магматическими месторождениями хромитов, титаномагнетитов и платиноидов; 2 — формация плагиогранит-сиенитов со скарновыми месторождениями железа и меди; 3 — формация гранодиоритов со скарновыми и гидротермальными месторождениями редких, цветных металлов и золота; 4 — формация гранитов с пегматитовыми и альбитит-грейзеновыми гидротермальными месторождениями редких металлов; 5 — формация малых интрузий с гидротермальными месторождениями цветных, редких, благородных и радиоактивных металлов; 6 — формация субмаринных вулканических эпилито-кератофировых и порфиритовых пород с гидротермальными и гидротермально-осадочными месторождениями цветных металлов и окисных руд железа и марганца; 7 — осадочные, преимущественно терригенные породы; 8 — осадочные породы со значительной долей карбонатных осадков; 9 — породы субстрата; 10 — зоны дробления

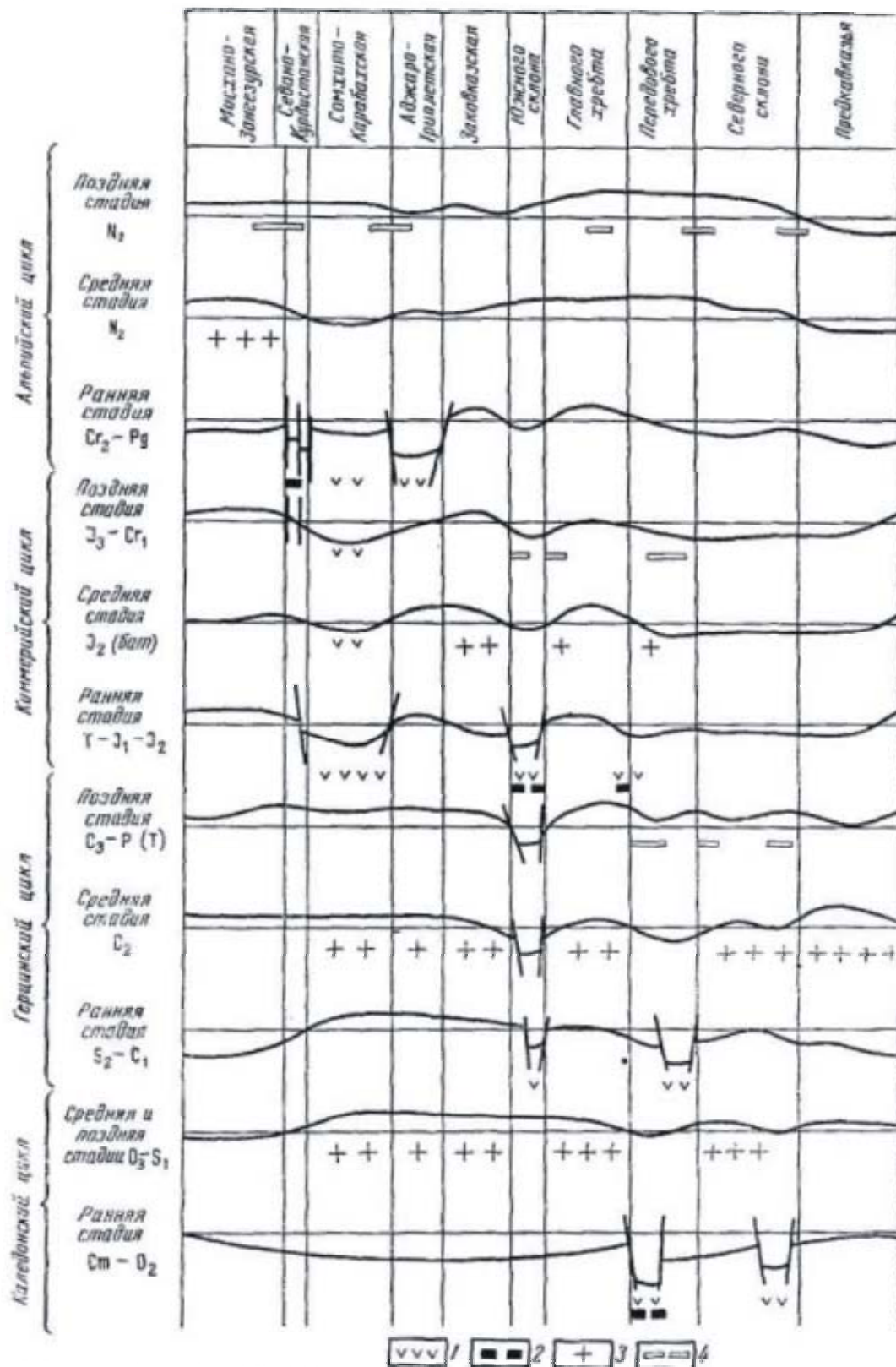


Рис. 2. Схема эволюции Кавказской геосинклинали, ее магматизма и металлогении;

1 - зоны накопления спилито-кератофировых и диабазовых пород и формирования связанных с ними колчеданных месторождений; 2 - зоны внедрения перидотитов и гобброидов ранней стадии и формирования связанных с ними магматических рудопоявлений хромитов и титаномгнетитов; 3 - зоны внедрения граптоидов средних стадий и формирования связанных с ними постмагматических месторождений; 4 - зоны внедрения малых интрузий поздних стадий и формирования связанных с ними гидротермальных месторождений.

Табл. 1 Сводная генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Серия	Группа	Класс	Подкласс
Эндогенная	Магматическая	Ликвационный Раннемагматический Позднемагматический	
	Пегматитовая	Простых пегматитов. Перекристаллизованных пегматитов Метасоматически замещенных пегматитов	
	Карбонатитовая	Магматический Метасоматический Комбинированный	
	Скарновая	Известковых скарнов Магнезиальных скарнов Силикатных скарнов	
	Альбитито- грейзеновая	Альбититовый Грензеновый	
	Гидротермальная	Плутоногенный Вулканогенный Телетермальный	
	Колчеданная	Метасоматический Вулканогенно- осадочный Комбинированный	
Экзогенная	Выветривания	Остаточный Инфильтрационный	
	Россыпная	Элювиальный Делювиальный Пролувпальный Аллювиальный Латеральный Гляциальный	Косовой Русловой Долинный Дельтовый Террасовый Озерный Морской Океанический Моренный Флювиогляциаль- ный
	Осадочная	Механический Химический Биохимический Вулканогенный	
Метаморфогенная	Метаморфизованная Метаморфическая	Регионально- метаморфизованный Контактово- метаморфизованный	

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под поисками понимаются работы, направленные на обнаружение месторождений полезных ископаемых. Поиски месторождений базируются на достижениях различных отраслей геологической науки. Основой поисков являются геологические карты, отражающие строение и историю геологического развития земной коры. Без всестороннего изучения геологического строения района невозможно проведение научно обоснованных поисковых работ.

Приступая к поискам месторождений полезных ископаемых, необходимо ясно представить себе цель: что, где и как искать? Искать следует промышленные типы месторождений в благоприятных геологических обстановках современными поисковыми методами.

Прежде всего необходимо выделить перспективные территории для проведения поисковых работ. Такие территории выделяются по геологическим данным на основании мелкомасштабных (1 : 200000 — 1 : 50 000) государственных геологических карт с учетом результатов региональных геофизических и геохимических работ.

Чтобы выявить минеральные скопления, указывающие на возможное существование промышленного месторождения, на перспективной площади необходимо выполнить широкий комплекс исследований. Дело в том, что непосредственно удастся обнаружить лишь те скопления полезных ископаемых, которые в коренном залегании или в россыпях обнажены на дневной поверхности. Большая же часть территории нашей страны покрыта рыхлыми отложениями. Для обнаружения проявлений полезных ископаемых под покровом рыхлых отложений проводятся геофизические и геохимические исследования, с помощью которых определяются участки повышенной концентрации полезных минералов или элементов. Затем на этих относительно небольших площадях закладываются горные выработки или буровые скважины, позволяющие обнаружить минеральные скопления, интересные для дальнейшего изучения.

Полезные ископаемые, обладающие физическими свойствами (магнитностью, радиоактивностью, электропроводностью, плотностью), резко отличными от окружающей среды, могут обнаруживаться при помощи соответствующих геофизических методов. В таких случаях в начальный период поисков фиксируются те или иные геофизические аномалии; затем в пределах аномальных участков производятся работы, направленные на выявление скоплений полезных ископаемых. Для обнаружения полезных ископаемых, не выходящих на поверхность и залегающих на значительной глубине, так называемых «слепых» залежей, приходится бурить довольно глубокие поисковые скважины или проходить подземные горные выработки.

Участки для глубинных поисков определяются на основании анализа геологических карт, геофизических и геохимических аномалий, позволяющих по сумме данных предполагать скрытые на глубине полезные ископаемые.

Для наиболее полного выявления месторождений полезных ископаемых применяется геологическая съемка с комплексом поисковых методов, что позволяет выяснить геологическую обстановку в данном районе и обнаружить там максимум проявлений полезных ископаемых. Сущность комплексных поисков месторождений полезных ископаемых заключается в том, чтобы применить в определенных геологических условиях и с учетом условий ландшафта все целесообразные методы для обнаружения полезных ископаемых в данном районе.

В отличие от комплексных поисковых работ на всевозможные полезные ископаемые в практике часто ведутся специализированные поиски месторождений определенного промышленного типа. Так, при поисках золотоносных россыпей осуществляется комплекс исследований, направленных только на выявление повышенных концентраций свободного золота. Для поисков урановых руд ведутся работы, направленные только на их обнаружение. При поисках угля или нефти применяются методы и технические средства, имеющие целью обнаружение лишь месторождений этих полезных ископаемых. Правда, и при специализированных поисках обязательно фиксируются находки других полезных ископаемых, но без применения специальных методов и дополнительных затрат.

С течением времени количество легко открываемых месторождений резко уменьшается. В отдельных хорошо изученных рудных районах промышленные месторождения, выходящие на поверхность, по существу все открыты. Поэтому с особой остротой встает вопрос разработки новых методов, позволяющих обнаруживать месторождения на больших глубинах. К таким методам относятся геофизические и геохимические.

Геологи-нефтяники проводят поиски месторождений на глубинах до 5—6 км, а в пределах богатых нефтеносных провинций исследования проникают до глубины 8—9 км.

Поиски месторождений твердых полезных ископаемых целесообразны до глубин, на которых ведется их разведка и разработка. Так, разведка и эксплуатация угольных месторождений проводится до глубины 1,5—2 км. Разведка же большинства металлических полезных ископаемых ведется до глубины 500 м, и только в отдельных случаях для месторождений золота и алмазов она захватывает глубины до 1—3 км и более.

При поисках важно не только обнаружить полезное ископаемое, но и дать геолого-экономическую оценку открытия. Обычно из 200 рудопоявлений только одно имеет промышленный интерес. Понятие «промышленное» или «непромышленное» месторождение (рудопоявление) является условным, так как оно зависит от требований, предъявляемых к минеральному сырью. Эти требования изменяются по мере развития техники,

в результате чего непромышленное месторождение со временем может стать промышленным. Это следует учитывать при оценке новых открытий.

Поисковыми геологическими критериями можно называть такие геологические факты, которые прямо или косвенно указывают на возможность обнаружения в тех или иных условиях различных полезных ископаемых.

От критериев целесообразно отличать поисковые геологические признаки, т. е. конкретные факты, указывающие на присутствие полезной минерализации в районе, например, наличие обломков золотоносного кварца, скарнов со свинцово-цинковой минерализацией и т. д.

Критерии могут быть действительны для всей земной коры а могут иметь только местное, районное значение. В последнем случае критерий учитывает особенности геологической истории и строения данного района и указывает на возможность накопления именно здесь каких-либо полезных ископаемых. Например, в Северном Казахстане золотоносность связана с малыми интрузиями диоритов. Но это еще не дает права распространять данный критерий на все золотоносные районы. В Восточном Казахстане пегматиты связаны с верхнепермскими гранитными интрузиями, но вообще в природе пегматитовые тела связаны и с докембрийской, каледонской, герцинской и альпийской эпохами диастрофизма.

При анализе вопроса о геологических критериях и признаках нужно помнить, что они нередко как бы переходят друг в друга; особенно часто критерии в некоторых районах становятся признаками: гидрогеологические критерии (особенно гидрохимические) иногда совпадают с признаками зоны измененных гидротермальным метаморфизмом пород, которые нередко можно рассматривать как поисковый признак, и т. д.

Все месторождения полезных ископаемых можно рассматривать как геологические тела, возникшие в связи с разнообразными процессами, протекавшими в земной коре, и тесно связанные с историей геологического развития тех ее участков, которые заключают в себе эти месторождения. Все геологические науки: историческая геология и учение о фациях, петрография осадочных, изверженных и метаморфических пород, геоморфология и геотектоника, геохимия и учение о полезных ископаемых — в той или иной мере вскрывают закономерности, определяющие накопление и распределение полезного вещества в горных породах. Анализ, изучение и использование этих закономерностей в практических целях составляют одну из главных задач учения о поисках и разведках месторождений полезных ископаемых.

Геологические поисковые критерии, выявляющиеся при изучении таких закономерностей, естественно, приобретают названия по основному из определяющих условия локализации и концентрации полезного ископаемого факторов. Так, различаются критерии: 1) стратиграфические, 2) фациально-литологические, 3) структурные, 4) магматогенные, 5) изменения вмещаю-

щих пород, 6) геохимические, 7) геоморфологические; 8) метаморфогенные, 9) гидрогеологические и 10) геофизические.

Но все природные процессы взаимосвязаны и трудно отделимы друг от друга: литогенез и тектогенез, тектогенез и вулканизм, образование деформационных структур и генезис рельефа Земли и т. д. Значение их в различных условиях далеко не равноценно, поэтому необходимо роль каждого из геологических поисковых критериев рассмотреть отдельно, хотя в полевой работе многие из них применяются совместно. При таком рассмотрении будет ясно, в какой геологической обстановке можно использовать ту или иную группу геологических критериев.

Все геологические критерии должны выявляться в природных условиях и прежде всего при геологической съемке.

Стратиграфические предпосылки. К этой группе относятся геологические факты, связанные, прежде всего, с возрастом различных свит или датированных стратиграфическими данными интрузий, заключающих в себе полезное ископаемое. При этом подразумевается возраст, обоснованный надежным палеонтологическим материалом. В настоящее время возрастные, стратиграфические критерии все шире обосновываются данными определений абсолютного возраста магматических, метаморфических и осадочных пород.

Многие полезные ископаемые встречаются преимущественно в отложениях того или иного возраста и не встречаются или редко встречаются в осадках другого возраста. Для большой группы важнейших полезных ископаемых, таких, как уголь, железная и марганцевая руды, фосфориты, бокситы и др., эти закономерности выдерживаются в пределах всего земного шара и как бы фиксируют продуктивные периоды. Небольшая часть полезных ископаемых приурочена практически к отложениям только одного возраста; так, все промышленные месторождения слюды и графита имеют до-кембрийский возраст.

Полезные ископаемые осадочного генезиса появляются на различных этапах геологической истории. Например, углистые сланцы известны с нижнего силура, угли—с девона, оолитовые, гидрогётит-шамозит-сидеритовые фации—с верхнего протерозоя, а джеспероидные фации развиты преимущественно в докембрии. К определенным периодам приурочено образование и большей части некоторых магматогенных месторождений, хотя здесь возрастной фактор часто имеет подчиненное значение. Можно, например, отметить, что главная масса мировых запасов олова и вольфрама связана с альпийскими (мезозойскими и кайнозойскими) интрузиями; этот же возраст имеет большинство ртутных и сурьмяных месторождений и т. д.

С поисковой точки зрения важно, что установление периодов накопления полезных ископаемых, особенно эффективно проявляющихся на какой-либо территории земного шара, дает указание на возможность

обнаружения тех же ископаемых в близлежащих участках земной коры в аналогичных геологических условиях.

Изложенные положения представляют общетеоретический интерес и могут иметь значение для планирования поисковых работ.

Каменный уголь и горючие сланцы. Из группы твердых каустобиолитов наиболее древними считаются месторождения горючих сланцев, образование которых в Прибалтике относится к ордовику, а из гумусовых углей—верхнедевонские месторождения Медвежьего острова. Далее угленакопление проходит через все геологические системы вплоть до четвертичной (торфяники). Интересны не только возрастные эпохи, но также площади и центры—«узлы», по П. И. Степанову — наиболее богатого накопления каустобиолитов. Особенно важными в СНГ являются пермский узел, соответствующий Тунгусской угленосной площади и Кузбассу, и юрские узлы: Кавказско-Среднеазиатский, Иркутско-Дальневосточный и Ленский.

Опубликованные карты распределения каменноугольных бассейнов и угленосных площадей и особенно карты прогнозов определяют границы районов возможного угленакопления во всех районах СНГ. Карты прогнозов показывают: а) возраст угленосных отложений, б) тип углей (каменный или бурый), в) степень вероятности обнаружения угля в том или ином районе—и разграничивают «пустые» площади от возможно продуктивных.

В менее изученных районах геологические исследования при поисках с использованием фациально-литологических, геоморфологических и структурных критериев могут выявить новые угленосные горизонты в стратиграфическом разрезе.

Гипергенные железные руды. Стратиграфическое размещение гипергенных железных руд хорошо видно на рис. 1 (по Н. М. Страхову). Чередование эпох расцвета и замирания железорудных фаций проявляется здесь еще более отчетливо, чем для углей. Железорудные эпохи представляют собой сравнительно кратковременные эпизоды в истории Земли, разъединенные длительными безрудными эпохами.

Н. М. Страхов (1947) установил шесть крупных и восемь-девять мелких железорудных эпох за весь период развития Земли. Наибольшее значение имеет эпоха докембрия, особенно альгонка, которой принадлежит более 95% всех учтенных запасов железных руд (включая железистые кварциты). К крупным эпохам накопления железных руд, не считая альгонка, относятся: 1) нижнекембрийская, 2) аренигско-ландейльская, 3) ландоверская, 4) верхнекарбоновая, 5) юрская (лейас и доггер) и 6) плиоценовая. Последние три эпохи заслуживают, после альгонка, наибольшего внимания.

В пределах каждой эпохи (кроме докембрия) пространственно выделяются ограниченные районы, своеобразные металлогенические провинции гипергенных железных руд. В пределах этих провинций выделяются отдельные рудные поля. Н. М. Страхов пришел к выводу, что: «Эта тенденция гипергенных железных руд образовывать значительные железорудные пояса

или зоны представляет едва ли не характернейшую черту их пространственной локализации». Климатическая интерпретация прошлого дает возможность наметить приуроченность руд к определенным климатическим зонам: это зоны умеренного и тропического, обязательно влажного климата.

При поисковых работах важно учитывать стратиграфическое положение рудоносных свит, поясовое размещение рудоносных фаций, наличие отдельных рудных полей или месторождений в пределах рудной провинции.

Следовательно, руководствуясь критерием времени, не менее важно направлять поиски вдоль зон формирования определенных фаций и стремиться изучить участки территории, ближайшие к уже найденным объектам.

Гипергенные марганцовые руды. Размещение марганцовых руд в пространстве и во времени, по Страхову, приблизительно совпадает с железными рудами, и они в своем большинстве органически входят в состав железорудных провинций. Лишь в карбоне марганцовые руды приурочены к нижнему отделу, а железные—к среднему, и в третичном периоде марганцовые—к палеогену, а железные—к неогену. Знаменитой докембрийской железорудной эпохе вполне отвечают родонитовые и кварцево-спессартитовые породы Индии, Африки и других районов земного шара, только эти марганценозные образования на данном этапе не являются промышленными рудами.

Близкая аналогия в поведении марганцовых и железных руд в пространстве и во времени определяет возможность использования стратиграфического критерия при поисках тех и других месторождений.

Бокситы. В стратиграфическом размещении бокситов также обнаруживается значительная аналогия с железными рудами, но приходится иметь в виду недостаточную изученность закономерностей распределения бокситов. Во всяком случае, начиная с юры и до неогена стратиграфическое совпадение в развитии железорудных и бокситовых фаций достаточно полное. В районах их нахождения наблюдаются различные взаимопереходы между железными и алюминиевыми рудами; часто встречаются руды, которые бывают настолько обогащены тем и другим элементами, что их одинаково правильно называть и железными и алюминиевыми.

Такое стратиграфо-географическое совпадение, как говорит Н. М. Страхов, может иметь далеко идущие последствия при изучении различных докембрийских и палеозойских провинций и железорудных свит и при опробовании последних на алюминий. Поисковое значение этой закономерности очевидно.

Прочие гипергенные месторождения полезных ископаемых. Примерно тем же закономерностям подчиняется распределение в стратиграфическом разрезе фосфоритов, солей, осадочной серы и др.

Выполненный анализ стратиграфической приуроченности калиеносных формаций к определенным подразделениям платформенного чехла позволил выявить в истории развития осадочной оболочки Земли шестнадцать этапов аккумуляции калийных солей: 1) вендский; 2) раннекембрийский; 3)

позднесилурийский; 4) среднедевонский; 5) позднедевонский; 6) раннекаменноугольный; 7) среднекаменноугольный; 8) раннепермский; 9) позднепермский; 10) познетриасовый; 11) позднеюрский; 12) раннемеловой; 13) позднемеловой; 14) эоцен-олигоценый; 15) миоценовый; 16) плиоцен-четвертичный.

Из 16 известных глобальных этапов калиенакпления в Припятском прогибе проявились два – позднедевонский и раннепермский. Интересно отметить, что пермские соленосные отложения в Припятском прогибе выявлены лишь в начале 1980-х годов, когда в регионе были уже пробурены многие сотни нефтепоисковых, параметрических, структурных, солевых и других глубоких скважин. Факт обнаружения калийных и магниевых солей в этих соленосных отложениях также является примечательным, так как именно пермский период в истории развития Земли являлся одним из наиболее оптимальных для калийного осадконакопления.

Возраст интрузивных пород и гипогенные месторождения. Установление возраста интрузивных пород и связанных с ними полезных ископаемых, а также закономерностей их распределения является далеко не легкой задачей. Причина заключается не только в том, что магматогенные месторождения встречаются во всех периодах развития земной коры, но и в трудностях датирования материнских интрузий и тем более самих месторождений.

Для поисковых целей возраст материнских пород с трудом может быть использован. Но в тех районах, где установлены интрузии разного возраста, этот критерий становится полезным, если известно, с каким из них связано оруденение. К таким районам относится, например, Восточное Забайкалье, где с предверхнеюрскими гранитами связана оловянная и вольфрамовая минерализация и лишь некоторые полиметаллические месторождения, а с послеверхнеюрскими интрузиями—основная масса полиметаллических месторождений. В Восточном Казахстане с верхнепермскими интрузиями связаны редкометальные пегматиты.

Известна также приуроченность магматогенных месторождений к определенным участкам стратиграфического разреза. В качестве примера можно назвать Рудный Алтай. Подавляющее количество алтайских полиметаллических и медных месторождений имеет посленижнекаменноугольный возраст. Тем не менее наибольшее их количество, в том числе многие крупнейшие по запасам месторождения, приурочены к нижней части стратиграфического разреза среднего палеозоя. В этом случае играли роль как стратиграфические факторы, так и литологические и структурно-тектонические.

ПРИЛОЖЕНИЕ

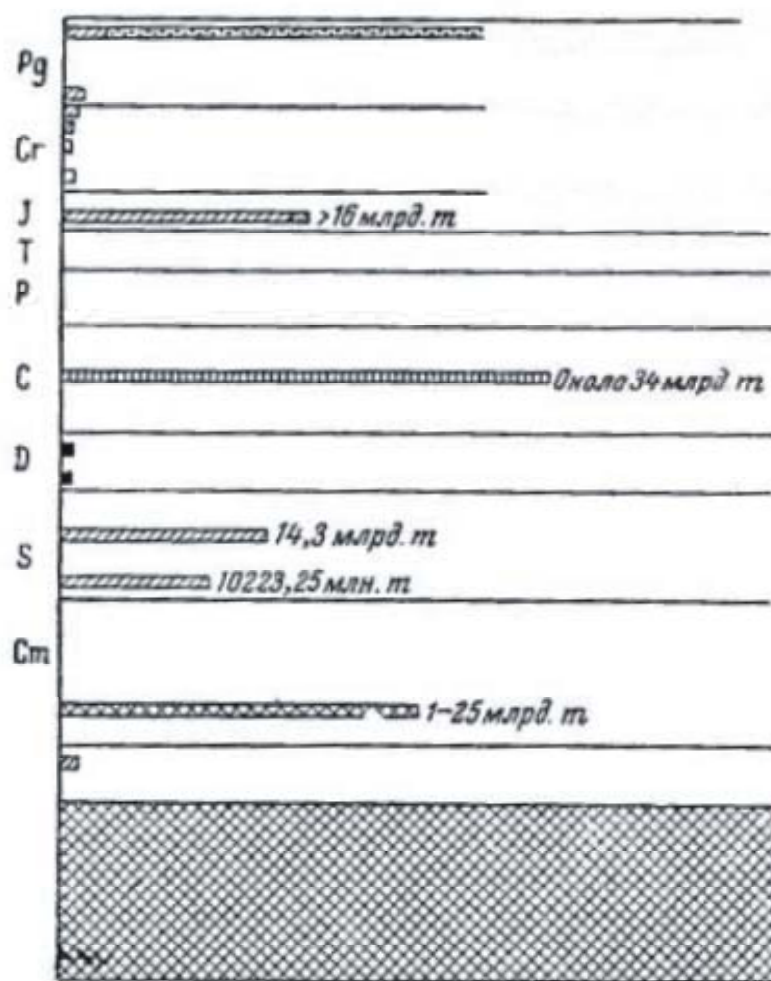


Рис. 1. История накопления гипергенных железных руд (по Н.М. Страхову)

ФАЦИАЛЬНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ, СТРУКТУРНЫЕ И МАГМАТОГЕННЫЕ ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

ФАЦИАЛЬНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Основаны на предположении о связи некоторых месторождений с определенными фациями или типами горных пород. Такого рода критерии широко используются при выявлении железорудных и марганцеворудных горизонтов, а также связанных с ними опок, спонголитов, яшм.

Разнообразные формации и фации горных пород характеризуются отложениями определенного литологического состава. Литологические критерии являются мощным орудием при поисках осадочных и магматогенных месторождений, и их роль должна быть вскрыта достаточно отчетливо.

С поисковой точки зрения крайне важно, какими фациальными типами представлены осадочные месторождения полезных ископаемых и среди, каких пород (или на каких породах) они залегают.

Фациальный профиль. Н. М. Страхов называет фациальным профилем кривую, которая показывает характер распределения месторождений (и соответствующих запасов руд) по генетическим (фациальным) типам.

На рис. 1 показан фациальный профиль железных и марганцевых руд, бокситов и кремнекислоты. На таком профиле можно было бы разместить и кривую углей, а также огнеупорных глин и каолинов. Кривая углей занимала бы примерно (соответствующих расчетов не произведено) среднее положение между кривой железа и кривой бокситов, а кривая глин и каолинов очень напоминала бы кривую бокситов.

Эта удачная форма обобщения сразу ориентирует поисковика, позволяя представить условия образования месторождений, а следовательно, осуществить генетический подход к обнаружению возможных полезных ископаемых. Она легко объясняет и своеобразную «зональность», которая обнаруживается, например, на юго-западной, западной и северо-западной окраинах Подмосковной котловины, где подмосковные угли сменяются боровичскими огнеупорными глинами, а последние—тихвинскими бокситами.

Ископаемые угли. Угленосные отложения состоят преимущественно из терригенного материала. Обычно отрицательным фактором при оценке угленосности являются мощные толщи конгломератов, хотя есть и исключения.

Для каждого отдельного бассейна имеются свои фациально-литологические критерии, которые вытекают из особенностей геологии этих районов. В общем можно отметить, что однообразное направление сноса терригенного материала указывает на благоприятные условия угленакопления. Разнообразное направление сноса, иногда фиксируемое полимиктовыми и иными песчаниками, свидетельствует о возможности размыва угленосных

накоплений. В качестве примера можно привести Буреинский бассейн. Здесь выделяются морская и континентальная толщи. Угли обычно приурочены к пластам сланцев среди слоев аркозовых песчаников. В тоже время зеленая «хлоритовая» толща, при формировании которой снос происходил в различных направлениях, практически не содержит промышленных углей; вероятно, они были размыты.

При поисках угленосных отложений большое внимание уделяется явлениям размывов в терригенных осадках, так как они могут существенно усложнять геологические условия нахождения каменноугольных месторождений.

Железные руды. Руды коры выветривания и зоны циркуляции грунтовых вод, образование которых связано с формированием пене-пленов, обычно бывают приурочены к основным и ультраосновным породам. К такому типу принадлежит Елизаветинское месторождение на Урале. Субстратом для этих руд, кроме основных изверженных пород, служат метаморфические сланцы, но образующиеся в них месторождения обычно ничтожны по размерам, хотя и распылены на большом пространстве (например, в древних свитах Урала). Главнейшие месторождения, плащеобразно перекрывающие ультраосновные массивы, характеризуются присутствием легирующих примесей—никеля и хрома. К этому же фациальному типу нужно относить железные шляпы.

Руды озерно-болотной фации крайне разнообразны: это гидрогётитовые, сидеритовые и др. Говоря о применении к их поискам фациально-литологических критериев, можно указать на характерные черты озерно-болотных фаций вообще: небольшую мощность осадков, довольно ясную слоистость, преобладание глин, иногда зональное строение осадков (песок—песчаная глина—чистая глина), определенное положение железных руд в разрезе. Нередко руды тяготеют к массивам ультраосновных пород (Хали-ловский район), и в этом случае последние могут служить хорошим поисковым критерием.

Железородные пласты из оолитов, органических остатков и цемента (где, кроме гематита, шамозита и сидерита, почти всегда встречаются карбонаты, кремнезем и фосфаты) сами по себе сравнительно легко обнаруживаются при геологической съемке и тщательных поисках. Сидериты в черных глинах, образующиеся в более глубоких частях шельфа, пока не имеют промышленного значения и не рассматриваются.

Джеспилитовые железные руды, или железистые кварциты, вместе с включенными в них богатыми гематитовыми рудами представляют собой важнейший промышленный тип. Такие месторождения широко распространены в докембрии, главным образом в альгонке.

Марганцовые руды. К марганцовым рудам коры выветривания относится, возможно, половина мировых запасов. Крупные запасы подобных руд известны в Индии и в Африке; не исключена возможность обнаружения

их и в СНГ. Это тип своеобразных «марганцовых шляп» над толщами докембрийских метаморфических сланцев, обогащенных Mn.

Фация оолитовых марганцовых руд, имеющая исключительную промышленную ценность (Чиатуры, Никополь), проявляет себя подобно железным рудам морской фации. Исследования А. Г. Бетехтина (1946) обогатили учение о поисках дополнительными критериями. Очень характерно, что кремнистые осадки обычно залегают в почве оолитовых марганцовых фаций, а последние часто находятся в различных стадиях метаморфизма. Этим объясняется разнородный литологический состав самих марганцеворудных пластов и рудных минералов.

Развитие марганцовых руд в средней части шельфа, т. е. дальше от берега по сравнению с оолитовыми железными рудами, хорошо объясняет различные переходы руд, в частности окисных в карбонатные, и дает обоснование для направления поисковых работ в сторону бывшей береговой линии, или, наоборот, в сторону открытого моря.

Фациально - литологический критерий с успехом используется при поисках марганцеворудных горизонтов, а также связанных с ними кремнистых химических осадков (опоки, опокovidные глины, спонголиты, яшмы с радиоляриями, нередко в сопровождении туфов и туффитов). При детальном исследовании хорошим критерием для расчленения фациальных разностей руд является содержание фосфора.

Марганцовые месторождения, связанные с развитием яшм, необходимо искать среди эффузивно-осадочных толщ.

Бокситы. Если марганцовые месторождения, по Н. М. Страхову, имеют тенденцию образовываться дальше от континента в сторону открытого моря, то бокситы, наоборот, тяготеют к континентальным условиям. Главная масса эксплуатируемых в настоящее время руд, за исключением месторождений Европы и Азии, относится к коре выветривания и, возможно, связана с латеритными условиями. С точки зрения использования фациально-литологических критериев важно, что элювиальные руды залегают плащеобразно на гранитах и сиенитах, особенно нефелиновых, а также в латеритной коре базальтов и диабазов в виде изолированных линз (вторичное перераспределение полуторных окислов). Таким образом, породы субстрата также служат целям поисков. Кроме того, элювиальные бокситы развиваются на метаморфических сланцах, богатых полевыми шпатами, и неизвестны на осадочных породах.

Ввиду широкого диапазона возможных материнских пород при поисках бокситов необходимо использовать также другие поисковые критерии.

Так, тригидратные (озерно-болотные) руды непосредственно связаны с близлежащими полевошпатовыми породами, особенно если они пиритизированы. Многие авторы склонны считать присутствие пирита в разрушенных породах обязательной предпосылкой для накопления осадочных бокситов.

Необходимо добавить, что в бокситах этого типа (как и в морских) наблюдаются все виды переходов к аналогичным железным рудам, что также иногда может служить поисковым критерием. Обычно эти руды ассоциируют с песчано-глинистыми отложениями. Нередко бокситоносные толщи по простиранию сменяются огнеупорными глинами. Известно нахождение в этих отложениях растительных остатков и даже углей.

Моногидратные, в частности уральские диаспоро-шамозитовые руды, с точки зрения фациальных признаков относятся к мелководной лагунной фации. Самым существенным для применения изучаемого критерия обстоятельством надо считать залегание этих руд среди карбонатных пород (почва и кровля) и их оолитовый характер. Нередко бокситы залегают на рифогенных известняках, окруженных окolorифовыми брекчиями, и перекрываются тонкослоистыми битуминозными известняками. Переходы к железным рудам бывают весьма разнообразные; некоторая взаимосвязь с марганцовыми рудами намечается только на Украине.

Этот тип месторождений является одним из наиболее надежных, и обоснование генезиса данных руд, как и озерно-болотных, является большой заслугой А. Д. Архангельского и его школы.

Фосфориты. С точки зрения применения фациально-литологических критериев важно различать две разновидности фосфоритов.

Первая из них, платформенная, менее перспективная, обычно выражена глауконито-песчанистой фацией, где фосфориты имеют желваковый, галечный облик и реже представляют собой текстурно-неоднородный плитняк.

Вторая, геосинклинальная разновидность фосфоритовых фаций характеризуется значительной мощностью осадков, но меньшей выдержанностью в пространстве отдельных залежей, хотя весь фосфоритоносный горизонт обычно хорошо выдерживается на больших площадях. Это пластовые тонкослоистые, однороднойлитняковые оолитовые и пизолитовые фосфориты. Отсутствие глауконита, малое количество терригенных компонентов и органического вещества, а также темный цвет пород могут служить дополнительной характеристикой описываемой фации.

Никель. Никелевые руды коры выветривания развиваются в виде плащеобразных тел на ультраосновных породах, что и служит отчетливым фациально-литологическим поисковым критерием. Картина, однако, несколько усложняется тем, что никель обладает подвижностью и образует месторождения вблизи контактов серпентинитов с известняками. Такие месторождения скорее уже нужно относить к типу месторождений, образованных циркуляцией подземных вод. В Айдырлинском райбне на Урале встречено месторождение озерно-болотного типа с осадочными никелевыми сульфидами.

Таким образом, фациально-литологические критерии указывают, что при поисках гипергенных месторождений необходимо внимательно обсле-

довать серпентиниты, контакты их с известняками, а также ближайшие окрестности этих ультраосновных пород.

Область применения изучаемого поискового критерия не ограничивается гипергенными рудами, но распространяется и на гипогенные; в последнем случае этот критерий может быть назван просто литологическим.

Прежде всего нужно назвать карбонатные породы, в которых особенно интенсивно развиваются многие метасоматические гипогенные руды. Так, подавляющее большинство скарнов локализуется в известняках, а вместе со скарнами отлагаются железные, медные, вольфрамовые, молибденовые, оловянные и свинцово-цинковые, мышьяковые и золотые руды. Особенно благоприятны карбонатные породы для локализации свинцово-цинковых руд. Многочисленные (в том числе крупнейшие) разрабатываемые месторождения мира приурочены к этим породам. В некоторых районах СНГ, в частности в Восточном Забайкалье и Карамазаре, подавляющее большинство промышленных месторождений залегает в карбонатных толщах. Нередко среди этих пород встречаются медные, оловянные, ртутные, сурьмяные месторождения.

С карбонатными толщами связаны крупнейшие месторождения магнетитов. Они влияют также на образование и локализацию некоторых графитовых, флогопитовых, флюоритовых и баритовых, хризотил-асбестовых и тальковых месторождений.

Наоборот, в некоторых районах известняки служат отрицательным показателем для отдельных полезных ископаемых. Так, например, оловяносные пегматиты и вообще рудоносные пегматиты практически не встречаются в известняках. Есть районы, где полиметаллические медные и оловянные руды как бы «избегают» карбонатные толщи.

Песчано-сланцевые толщи во многих местах вмещают оловянные и оловянно-вольфрамовые руды: почти все оловянно-вольфрамовые месторождения внешней зоны Тихоокеанского рудного пояса залегают в песчано-сланцевых породах (или гранитоидах).

Почти все месторождения мусковита и флогопита, а также графита залегают в древних метаморфических сланцах. В кварцитах концентрируются многие месторождения оптического кварца и пьезокварца. Эффузивно-осадочные породы иногда являются «излюбленным»местилищем полиметаллических месторождений алтайского типа, а также полезных минералов, связанных с «вторичными кварцитами», образовавшимися за счет эффузивных пород (андалузит, силлиманит, корунд).

Некоторые изверженные породы вмещают эпигенетические месторождения. Так, в ультраосновных породах залегают месторождения платины, хромшпинелидов, хризотил-асбеста, корундовых плагиоклазитов, вермикулита.

Перечисленные факты, генетический смысл которых освещается в учении о полезных ископаемых, имеют очень большое значение при поисковых работах.

Здесь не освещено применение литологического (как и стратиграфического) критерия для поисков месторождений, которые сами являются основными представителями определенных фаций (известняки, глины и т. д.). Все такие породы должны фиксироваться на геологической карте, поэтому в обычном смысле поисков этих пород не бывает и геологоразведочные работы начинаются с геолого-экономического обследования сырья. Судьба подобных месторождений в основном решается не геологическими, а технико-экономическими факторами.

СТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ

Структурные критерии основаны на особенностях тектонического строения земной коры, определяющих условия локализации месторождений. Необходимо различать по крайней мере три группы структурных критериев: 1) группу структур, определяющих положения рудных полей и бассейнов в пределах складчатых зон и платформ; 2) группу структур, определяющих положения отдельных месторождений в пределах рудных полей или бассейнов, и 3) группу структур, определяющих положения рудных тел в месторождениях.

Структурные критерии первой группы определяют самые общих закономерности размещения полезных ископаемых. Так, главные структурные элементы земной коры — щиты, платформы и геосинклинальные зоны — характеризуются вполне определенным металлогеническим обликом. Щиты наиболее богаты месторождениями слюды, редких и радиоактивных элементов, апатита; на платформах отмечаются месторождения фосфоритов, нефти, газа, угля; в геосинклинальных областях сосредоточена основная масса металлических полезных ископаемых. Следовательно, основная цель изучения структур первой группы заключается в установлении закономерностей размещения рудных полей.

Структуры рудных полей в пределах щитов, платформ и геосинклинальных областей, как правило, определяются складчатыми и разрывными нарушениями более высоких порядков. В равной степени это относится и к месторождениям. Наиболее благоприятными структурными условиями для локализации рудных полей и месторождений являются замковые части складок, особенно осложненные разрывными нарушениями, и зоны пересечения разрывных нарушений различных направлений.

Структура осадочных месторождений более проста и чаще всего подчинена складчатости. Так, рудные тела месторождений железа платформенного типа залегают горизонтально или слабонаклонно, имеют пластовую и пластообразную форму и отличаются устойчивой мощностью. Рудные тела железистых кварцитов типа Кривого Рога падают круто,

согласно с элементами-залегания вмещающих толщ. Складчатые структуры — антиклинали или купола — наиболее благоприятны для локализации нефтяных и газовых месторождений.

Структуры, определяющие положение тел полезного ископаемого в пределах месторождения, исключительно многообразны. Они рассматриваются ниже в разделах о поисково-разведочных работах и в связи с вопросами разведки месторождений.

МАГМАТОГЕННЫЕ КРИТЕРИИ

Под магматогенными критериями подразумеваются все прямые и косвенные геологические факты, указывающие на взаимосвязь интрузивных пород и гипогенных месторождений.

В основе всех этих представлений лежит «магматическая гипотеза» о непосредственной связи между изверженными породами и рудными месторождениями, получившая почти всеобщее признание в XX веке.

Огромный фактический материал, позволяет выделить четыре случая, отличающихся степенью достоверности взаимосвязи между магмами и рудными месторождениями:

1. Непосредственная взаимосвязь совершенно очевидна. Это относится к месторождениям, которые по минералогическому составу руд качественно не отличаются от вмещающих материнских пород, и разница между ними заключается только в количественном соотношении минералов. Такие месторождения известны в ультраосновных и основных породах в виде вкрапленных руд и шлиров. К ним принадлежат, например, скопления хромшпинелидов, платины, осмистого иридия (сегрегационные месторождения), а также вкрапленные сульфидные медно-никелевые (ликвационные) руды. Все эти месторождения относятся к раннемагматической стадии дифференциации. К тому же типу взаимосвязи можно отнести часть вкрапленных месторождений с сидеронитовой структурой (фузивные по А. .Н. Заварицкому) и некоторые руды хрома в ультраосновных породах (гистеромагматические по А. Г. Бетехтину).

2. Взаимосвязь между магмой и оруденением весьма вероятна. Здесь идет речь о весьма распространенных линзах и жилах пентландит-халькопирит-пирротинных руд и о некоторых жилах титаномагнетитов. Материнская связь с вмещающими породами вызывает мало сомнений, так как подтверждается в подобных месторождениях всего мира. Но поскольку эти руды приходят из более глубинного очага, доказать их связь с магмой непосредственными наблюдениями взаимопереходов часто невозможно. Сюда же нужно относить месторождения титана, ниобиеносных карбонатов и др. в ультраосновных щелочных породах.

К тому же типу относятся оловоносные, бериллоносные и некоторые другие пегматиты. Подобные соотношения наблюдаются в щелочных интрузиях (Кольский полуостров) и даже в кислых интрузиях (Северная Киргизия). Обычно эти руды олова, молибдена, полиметаллов являются вкрапленными.

Интересные соотношения можно наблюдать в Восточном Забайкалье, где в интрузиве, пегматитах и жилах иногда заключены одни и те же характерные минералы (амазонит в месторождении Этыка).

Таким образом, речь идет о довольно отчетливой материнской связи, когда рудные месторождения являются «детьми» определенной магмы, создавшей массивы, которые выходят на поверхность. При этом подразумевается, что рудный материал поступил из очага, залегающего непосредственно ниже окончания рудных тел.

3. Взаимосвязь магматизма и оруденения предполагается. Это относится к большинству месторождений, связанных с гранитоидной магмой. Огромное количество наблюдений по всему земному шару, накопившееся за последние 100 лет, говорит о том, что многие рудные месторождения совпадают в пространстве и во времени с интрузивными телами, по составу колеблющимися от кислых гранитов до диоритов, по структуре—от гипидиоморфнозернистых до порфиров и фельзитов и по форме—от батолитов до труб.

Практически в принятии этой взаимосвязи и заключается признание магматической гипотезы.

4. Данные об источнике растворов отсутствуют. Это относится к так называемым эпитермальным и телетермальным рудам, конкретнее, к теллуридам золота и серебра, ртутным и сурьмяным рудам, а также к некоторым знаменитым свинцово-цинковым и медным рудам. К этой же категории относятся многие баритовые и флюоритовые тела, магнезитовые, сидеритовые и другие месторождения.

Анализ всего вопроса приводит к следующему практическому выводу: на первых этапах поисков нет возможности в полевых условиях производить детальное расчленение пород, поэтому здесь достаточно рассмотреть месторождения, связанные с производными: а) габбровой магмы, б) гранитной магмы и в) щелочной магмы. В поисковом отношении интересно расположение рудных месторождений: а) внутри массивов изверженных пород, б) вблизи от массивов и в) вдали от массивов. Кроме того, важно отмечать влияние всевозможных отщеплений от основного магматического очага и роль всех других факторов, которые могут иметь направляющее и оценочное значение в поисковой работе.

Связь месторождений с ультраосновными и основными магмами

С основными и ультраосновными породами связаны месторождения металлов группы платины и осмистого иридия, хромшпинелидов, месторождения медно-никелево-платиновые, медно-железо-ванадиевые, титановые различного типа, месторождения алмазов, асбеста, корунда, вермикулита, тальковых пород. В результате сложного химического выветривания ультраосновных пород образуются никелевые, железные, магнезитовые и другие месторождения.

Наиболее характерной чертой большинства из этих месторождений является их приуроченность к самим массивам, поэтому поиски приходится

вести внутри массивов изверженных пород. Только отдельные месторождения встречаются в ближайших участках вмещающих пород, что расширяет сферу поисков.

Таким образом, вся работа по обнаружению этих месторождений сводится к детальной геологической съемке самих массивов. Но детальные работы ставятся только после обнаружения полезного ископаемого. Поэтому уже в процессе рекогносцировочных и предварительных поисков нужно применять некоторые поисковые критерии и признаки для нахождения тех или иных из перечисленных металлов.

Платина находится в дунитовых массивах в тесной ассоциации с хромшпинелидами и отчасти с хромсодержащими хлоритами и уваровитом. Хромшпинелиды образуют небольшие гнезда размером от 1—2 см до десятков метров, распределенные в массивах без видимой закономерности. При изучении гнезд можно найти все переходы от шлировых выделений до типичных эпимагматических тел, но образование их все же выходит за пределы собственно магматического периода. Поэтому поиски могут производиться только внутри массивов дунитов и серпентинитов.

А. Г. Бетехтин выдвинул и доказал на отдельных частных примерах пространственную и генетическую связь хромшпинелидовых месторождений с дунитами в перидотитовых массивах. Таким образом, при поисках нужно в первую очередь обнаружить среди выходов перидотитов дунито-вые участки, которые распределены в массиве спорадически. Залегание участков дунита в перидотитовых массивах в основном согласное.

Коренные месторождения алмазов связаны почти исключительно с кимберлитовыми трубами, заполненными щелочными и ультраосновными породами. Кроме конкретного обнаружения алмазов, поисковыми критериями для них являются присутствие вмещающих оливиновых пород и их трубчатая форма. Широко известны кимберлиты Южной Африки и отчасти Арканзаса (США).

На Сибирской платформе в крупнейшем Вилуйском алмазоносном районе встречены типичные кимберлиты, что подтверждается их минералогическим составом, структурой и текстурой. Эти породы образуют трубки взрыва, заполненные сильно измененным брекчиевидным материалом, состоящим из ультраосновной породы эффузивного облика и ксенолитов разнообразных пород. Среди последних встречаются обломки не только прорванных осадочных пород, но также эклогитов и порфириовидных перидотитов с пиропами. Кроме того, пироп и пикроильменит присутствуют в качестве ксеногенных минералов. Можно считать установленным, что кимберлиты трубок Вилуйского района алмазоносны. В некоторых трубках попутно с добычей алмазов, возможно, будет добываться и ильменит.

Поисковая задача заключается в том, чтобы найти (кроме алмазных россыпей) кимберлитовые трубки и опробовать эти породы. Сами кимберлиты являются в данном случае и магматогенными критериями и признаками.

Главнейшие месторождения асбеста сконцентрированы в серпентинитах, образовавшихся в основном за счет перидотитовых массивов. Серпентинизация дунитов часто проявляется вдоль определенных тектонических направлений, не соответствующих первичной тектонике интрузива. Поисковым критерием в этом случае является положение зон серпентинизации. Есть основания считать, что асбестообразование протекало при воздействии на перидотиты гидротермальных растворов, источником которых служили кислые интрузии. Расположение выходов кислых интрузий и их отщеплений в виде различных даек в связи с трещинной тектоникой интрузива играет роль поискового критерия при поисках асбестовых месторождений. Хорошим поисковым критерием на амфибол-асбест являются зоны оталькования и особенно карбонатизации в серпентинитовых массивах. Месторождения талькового камня также связаны с серпентинитовыми массивами. Трещинная тектоника и здесь имеет поисковое значение, но особенно характерна для этих месторождений приуроченность талькового камня к контакту серпентинитов с вмещающими породами.

Пирротин-пентландит-халькопиритовые месторождения, играющие очень большую роль в экономике никеля и металлов платиновой группы, связаны преимущественно с норитами и другими основными породами, реже с ультраосновными породами. Чаще всего эти породы встречаются в форме межпластовых залежей.

За последнее время, особенно в связи с исследованиями В. К. Котульского, представления об этом типе месторождений значительно уточнились. Сульфидное медно-никелевое оруденение проявляется в виде нескольких типов в зависимости от генезиса руд. Прежде всего, вкрапленные руды обычно в виде мощного слоя тянутся вблизи (но не на самом контакте) от лежащего бока интрузивной залежи (обычно чашеобразной или близкой к горизонтальной). Мощность и качество руд связаны с размерами интрузивного тела. Кроме этого донного слоя, бывают и «подвешенные» слои вкрапленных руд на различных уровнях внутри силла. На самом «дне» интрузива, в зоне контаминации, иногда появляются участки повышенного качества вкрапленных руд, мелкие блоки богатых руд и трещинные жилы со сплошным оруденением.

В зоне крутого контакта с вмещающими породами, где часто бывают крупные нарушения, концентрируются залежи сплошных руд, которые раньше назывались краевыми. В пределах самого лополита или силла встречаются выдержанные жилы со сплошным оруденением.

Первая задача поисковика—установить форму интрузива и условия его залегания по отношению к вмещающим породам (согласное или несогласное). Размеры этого интрузива до некоторой степени позволяют судить о возможных размерах рудного тела.

Второй поисковой задачей следует считать установление псевдостратификации с внимательным изучением нижних зон. Рудоносные зоны, как

сказано выше, не всегда приурочены к донной части залежи, они встречаются и в более высоких горизонтах. Так, «риф Меренского», в Бушвельдском комплексе приурочен к верхней части дифференцированной зоны (1500—2000 м от дна и выше) и представлен пироксеновым псевдопорфировым диаллаговым норитом мощностью 0,9 м; этот «риф» содержит платиновые металлы (10,3 г/т), связанные с сульфидами никеля и меди. «Пласт» вкрапленных руд известен на Сопче (Монче-тундра) значительно выше дна интрузива. Трещинная тектоника интрузива определяет ориентировку встречающихся богатых крутопадающих рудных жил (Ниттис-Кумужья), сложенных сплошными сульфидами.

Титановые месторождения ильменита, рутила, ильменито-магнетитовых и титаномagnetитовых руд часто связаны с основными и ультраосновными породами. Большая часть этих руд и сплошного и вкрапленного типа встречается в габбро, габбро-норитах, норитах, пироксенитах, габбро-диабазов, анортозитах и др.

Лучшие ильменитовые руды обычно связаны с анортозитами. В этих месторождениях часто встречаются гематит (до 10—20%) и апатит (до 10%), нередко с примесью корунда и шпинели. Крупные месторождения сплошных и вкрапленных руд титана встречаются в габброидных породах; очень часто интрузивы бывают вытянуты (дайкоподобные и межпластовые интрузии), и эту вытянутость в определенном направлении повторяют и рудные тела. Малые интрузии габбро-диабазов обычно содержат титаномagnetит (в обогащенных зонах—в количестве 25—70%) и, наконец, ультраосновные породы габбро-пироксенит-перидотитовой формации несут иногда очень крупное вкрапленное оруденение с 2—4% окиси титана; из руд этих месторождений, кроме титанового концентрата, получают магнетитовый концентрат с содержанием 50—55% железа и десятых долей процента пятиокиси ванадия.

Таким образом, титановые месторождения, связанные с основными породами, нужно искать главным образом внутри массивов этих пород.

Известны, однако, многочисленные случаи (Себолла, Колорадо), когда рудные тела располагаются вне пределов материнских пород. Залегают эти месторождения в виде полос, шлиров, согласных и несогласных даек. В пироксенитах такие месторождения наблюдаются редко и почти не встречаются в тех разностях, которые состоят из пироксена, богатого молекулой метасиликата магния. Очень часто титаномagnetиты ассоциируют с анортозитами и залегают согласно с «пластами» анортозита или проявляются в виде даек.

Поисковые работы ведутся прежде всего во внутренних зонах основных массивов и подчиняются генеральным направлениям первичной структуры интрузива. Значительная мощность и выдержанность даек (иногда и пластообразных тел) весьма облегчает поисковую задачу.

Крупную роль играют на севере Сибири межпластовые внедрения оливиновых диабазов и габбро-диабазов, связанные с эпохой излияний сибир-

ских траппов. Залегающие в них Ni-Cu-Pt-месторождения представлены преимущественно вкрапленниками в придонных участках, среди которых имеются мелкие прожилки сульфидов. Во вмещающих породах руд не обнаружено. Следовательно, задачей поисков является обнаружение самих габбро-диабазовых пород и определение их формы, мощности и размеров. Особенно интересны чашеобразные участки интрузивных тел, где дифференциация шла достаточно полно и способствовала образованию сплошных сульфидных тел.

Связь месторождений со средними и кислыми магмами

Главная масса рудных месторождений магматического генезиса (~95%) связана с гранитоидными магмами.

Уже давно подмечено, что существует зависимость между характером оруденения и глубиной материнских интрузий, с которыми месторождения связаны в пространстве и во времени. Вопрос этот необычайно осложняется наличием в интрузиях всех переходов, обусловленных не только различной глубиной формирования, но и различной степенью «открытости» или «закрытости» кровли (трещины, пористость пород, проницаемость прикрывающих толщ и т. д.), а также отсутствием во многих районах данных о мощности смытых эрозией толщ.

С. С. Смирнов, считая глубину интрузий и месторождений одним из основных классификационных принципов, выдвигал на первое место тектоно-магматические комплексы. Но эта точка зрения пока еще не обоснована достаточным, проработанным под определенным углом зрения фактическим материалом.

Во многих районах главное оруденение связано с замыканием геосинклинали, т. е. с периодом, когда вся система, по крайней мере на длительное время, становилась менее подвижной. В это время часто происходили большие разломы, и по ним или по их пересечениям поднимались штоко-трубообразные и другие малые интрузии. Подобного типа разломы происходили и в близлежащих участках областей предшествующей складчатости.

По мере накопления фактов становится все яснее, что различные формы проявления магматической деятельности тесно связаны с тектоническими особенностями тех или иных участков земной коры. Проблема фациальности изверженных пород выдвинута М. А. Усовым. Над этой проблемой работали многие геологи из школы М. А. Усова, а также ряд московских геологов (В. Н. Козеренко, М. Б. Бородаевская и др.).

Фации магматических пород иллюстрируют геологические условия их образования, которые находят отражение в формах магматического тела, минералогическом составе, текстурах, структурах, взаимоотношениях с вмещающими породами (характер контактового метаморфизма).

Таких главных фаций выделяется четыре: 1) группа вулканических и явно связанных с ними субвулканических тел; 2) группа гипабиссальных пород, к числу которых относятся также малые интрузии; 3) группа интрузивных тел средних глубин; 4) группа абиссальных интрузивов, чаще всего

докембрийских; последние мало изучены, так как они практически не содержат рудных месторождений.

Можно утверждать, что с малыми интрузиями связано подавляющее большинство полиметаллических месторождений мира, значительная часть золоторудных, «меднопорфировые» и многие другие месторождения. Эту связь давно подчеркнул И. Ф. Григорьев. В СНГ к районам, где оруденение ассоциирует с малыми интрузиями, принадлежат Алтай, Восточное Забайкалье и Карамазар. Из медных месторождений сюда относятся меднопорфировые, а частично также медноколчеданные. По данным С. С. Смирнова, О. Д. Левицкого и Е. А. Радкевич, большинство оловоносных гранитов имеет гипабиссальный облик и много месторождений связано с малыми ультрагипабиссальными интрузиями. Многие месторождения золота приурочены к малым интрузиям, часто своеобразного характера,— например месторождения Северного Казахстана и Алданской плиты. С нормальными гранитоидными батолитами связано большинство месторождений вольфрама жильного и скарнового типа, все рудоносные пегматиты, оловянные месторождения кварцево-касситеритовой формации, многие золоторудные и молибденовые месторождения, медные руды жильного и скарнового типа и другие типы рудных месторождений.

Из приведенного краткого описания можно сделать вывод, что или роль малых и нормальных интрузий равноценна, или даже первые имеют большее значение. Все это вполне естественно, если учесть рассматриваемую глубину всей минерализации, в основном не превышающую 6—7 км от бывшей поверхности.

Труднее наметить признаки принадлежности интрузии к одному из интересующих нас типов. Отличия между ними отчетливо выражены только в крайних типах, так как в природе наблюдаются все возможные переходы. В. Н. Козеренко с этой точки зрения рассмотрел большое количество среднеазиатских гранитоидных интрузивов, относящихся в целом к группе фаций средних глубин. Черты их различия и сходства указаны в табл. 1.

Обычно рудные месторождения расположены в непосредственной близости от гипабиссальных интрузий или удалены от них не более чем на 1—2 км. Нужно сказать, что эти интрузии по размерам не всегда бывают малыми и для их установления необходимо пользоваться всеми другими признаками гипабиссальности. Чаще всего эти интрузии бывают представлены порфирами, кварцевыми и бескварцевыми альбитофирами, гранит-порфирами, гранофирами.

Если вопрос о генетической связи месторождений с малыми интрузиями не может считаться решенным и рудные растворы можно приписывать более глубинному источнику, то пространственная связь дает очень сильное оружие для поисковых работ, которое трудно переоценить.

Иногда малые интрузии частично или полностью захвачены рудоносными процессами (медь, олово, полиметаллы), при этом они сами могут

являться рудным телом. Нередко рудоносные малые интрузии наблюдаются в краевых частях вскрытых батолитов.

Есть основания считать, что эти интрузии на разных срезах мало изменяют свою площадь и поэтому совершенно не подходят к батолитовой схеме Эммонса, который часто считал малые интрузии за апикально усеченные купола батолитов, с чем, конечно, нельзя согласиться.

С поисковой точки зрения небезынтересны выводы Эммонса об отношении месторождения к батолитам. На рис. 2 схематически показана рудо-носность минерализованной оболочки, кровли батолита, а также безрудные участки батолита и вмещающих пород. На этой схеме видно, что металлоносные участки развиты как в оболочке, так и в кровле: ядро батолита остается безрудным.

Поисковые работы могут производиться на площадях, расположенных в пределах выходов интрузивных тел, а также вблизи и вдали от них, так как гидротермальные растворы могут сравнительно далеко проникать в кровлю батолита. Рудоотложение происходит на глубинах, недоступных для наблюдения, и только эрозия вскрывает эти глубинные зоны с их металлическими месторождениями. Поэтому оценка перспектив каждого района интрузивной деятельности в значительной мере зависит от той стадии эрозии, в которой находится данный район.

Схема Эммонса явно упрощает действительную весьма сложную картину. Фактически она интересна только для месторождений, которые связаны с батолитами в антиклинориях, образовавшихся за счет наиболее сильно прогибавшихся интрагеосинклиналей.

Эммонс рассматривает следующие шесть типичных стадий эрозии:

1. Криптобатолитовая стадия. Батолит не обнажен. В кровле предполагаемого батолита иногда наблюдаются дайки и пластовые интрузии или гидротермально измененные породы, указывающие на существование интрузий на глубине.

Во многих районах даек и интрузий нет, а изменения боковых пород в известняках сказываются только в доломитизации, гидротермальный характер которой иногда трудно установить в первый период полевых исследований.

2. Акробатолитовая стадия. Обнажаются купола, но эрозия проявилась недостаточно, чтобы вскрыть большие площади внутренних частей батолита. Мертвая линия расположена ниже поверхности эрозии.

3. Эпibatолитовая стадия. Эрозия продвинулась достаточно глубоко и вскрыла небольшие участки пустого ядра интрузива, расположенного под мертвой линией. Месторождения металлов находятся в пределах минерализованной оболочки интрузива.

4. Эмбатолитовая стадия. Фоном картины служат боковые породы, но эрозия настолько глубока, что площади интрузивных пород по величине почти равны площадям вмещающих пород.

5. Эндобатолитовая стадия. Фоном картины являются внедрившиеся породы. Вмещающие породы залегают в виде островков кровли среди внедрившихся пород.

6. Гипобатолитовая стадия. Эрозия проникла так глубоко, что практически почти все остатки вмещающих пород эродированы.

В проблеме поисков на основе схемы Эммонса есть свои трудности. Нередко внутри батолитов встречаются магматические породы более молодого магматического цикла, и месторождения металлов могут быть связаны с последним. В акробатолитовой зоне обнаженные купола могут быть спутаны с малыми (например, гранит-порфировыми) гипабиссальными интрузиями.

Во многих случаях, изученных на территории СНГ, интрузии следующей фазы или даже цикла тяготеют к периферии более древнего интрузива и мало нарушают методику поисковой работы, так как периферическая зона всякого интрузива должна быть всегда внимательно-обследована.

При поисках необходимо учитывать, что выделенные Эммонсом стадии эрозии применимы к большим территориям, измеряемым, во всяком случае, тысячами квадратных километров.

Поиски в криптобатолитовой зоне. К этой зоне тяготеют в первую очередь телетермальные свинцово-цинковые и медные месторождения в известняках типа Каратау и Брдышхи, Кении кота, Аляски и Катанги (Конго). Широко распространены здесь ртутные, сурьмяные и золотые теллуридные месторождения в эффузивах, такие как Комсток, Гольдфильс и Тонопа (США), реальгаро-аурипигментовые, а также баритовые и особенно флюоритовые.

Интрузивная деятельность проявляется, и то далеко не всегда, в образовании гипабиссальных жильных, силловых, жерловых фаций, поэтому при поисках трудно пользоваться критериями связи месторождений с той или иной магмой. По этой причине криптобатолитовая зона является провизорной, и здесь приходится пользоваться структурными критериями, которые описаны выше.

Поиски в акробатолитовой зоне. Схема Эммонса при изучении месторождений СНГ показывает, что акробатолитовая зона является наиболее продуктивной. В этой зоне встречаются месторождения всех перечисленных выше металлов, связанных со средними и кислыми интрузиями.

Поисковые работы здесь сосредоточиваются прежде всего в пределах некрытого купола; при этом учитывается, что оловянные, вольфрамовые, некоторые висмутовые, мышьяковые и молибденовые месторождения, а также пегматитовые жилы или расположены внутри интрузивного тела, или заходят недалеко в боковые породы. Большинство других металлов и скопленений жильных минералов проявляются и внутри и вне апикально усеченного купола, но скорее предпочитают внешнюю зону.

В акробатолитовой обстановке очень много месторождений находится вне видимой связи с куполами, так как последние во многих участках территории не обнажены. Если купола очень близки к поверхности, то контактовые изменения пород являются для них хорошими индикаторами. Но в общем случае при поисках в акробатолитовой зоне приходится пользоваться также критериями, указанными для криптобатолитовых условий, так как форма поверхности батолита на глубине остается совершенно неясной.

Поиски в эпibatолитовой зоне. В этой зоне также встречаются месторождения большинства металлов и многих неметаллов, но продуктивность ее несколько ниже по сравнению с акробатолитовой зоной. В эпibatолитовой зоне вскрываются боковые отпрыски (сателлиты) и промежуточные купола батолита. Эммонс считает, что в этой зоне при диаметре интрузивного тела 7,5 км обнажается уже его пустая сердцевина, расположенная вне минерализованной оболочки, т. е. ширина зоны оруденения составляет 3—8,5 км. Основная масса месторождений находится в приконтактной полосе шириной ~1,5 км в ту и другую сторону от контакта. (Следует учитывать условность этих цифр, так как решающую роль играет форма бывшей кровли батолита.)

Отказ от поисков во внутренних частях интрузий часто может приносить вред: нельзя забывать, что вслед за данной интрузией могли произойти новые внедрения магмы, в том числе и во внутреннем ядре более древней интрузии, или могли быть только что смыты останцы кровли.

Дать количественное выражение поисковой зоны вне (вокруг) вскрытого интрузивного тела не представляется возможным, можно лишь назвать порядок цифр: 2—3 км.

Поиски в эмбатолитовой зоне. Эта область менее продуктивна, чем предыдущая. Здесь больше всего развиты золотые, медные, цинковые и в некоторых районах оловянные и вольфрамовые месторождения; промышленные скопления других металлов имеют подчиненное значение, хотя и встречаются. Почти все месторождения расположены в породах кровли и в самой интрузии в пределах 3-километровой полосы по обе стороны от контакта, чем и определяется площадь поисковых работ. Месторождения часто расположены вокруг промежуточных куполов и всевозможных побочных сателлитовых отпрысков интрузии.

Поиски в эндобатолитовой зоне. Осадочные породы в этой зоне представляют собой острова и островки вмещающих пород среди огромных площадей интрузивных пород. Массовый просмотр месторождений позволил Эммонсу утверждать, что в этой зоне развиты преимущественно золоторудные месторождения, приуроченные к остаткам осадочных пород кровли и к полуторакилометровому поясу вокруг этих островков. Повышенная концентрация месторождений связана с куполами депрессий, прорывающими осадочные породы.

Поиски в гипобатолитовой зоне. Зона почти бесплодная. Остатки месторождений могут уцелеть только на участках, где кровля только что

эродирована. Кварцевые жилы, пегматитовые жилы с оловянным камнем и некоторыми другими ценными минералами изредка встречаются, но обычно имеют ничтожное промышленное значение.

Поисковое значение схемы Эммонса, основанной, как уже было сказано, на огромном фактическом материале, не вызывает сомнений, но она далеко не охватывает, как это и указано выше, всей проблемы, включающей освещение роли малых интрузий, дополнительных инъекций, повторных интрузий, формы куполов, глубины остывания и многого другого.

Существенные возражения вызывает сама форма поверхности батолита, как ее представляет Эммонс. Наши исследования в Казахстане показали, что при плоской кровле батолита и малой мощности покрывающих пород всех срезов Эммонса практически не получится. Если акробатолитовая зона может иметь место, то эпибатолитовая выпадает, а иногда выпадает и эмбатолитовая. Но дело даже не в этом, а в возможности пропуска при поисках по этой схеме месторождений, заключенных в интрузиве вблизи недавно эродированной кровли.

Все это заставляет сделать следующий вывод: учитывая положительные стороны схемы, при поисках следует ею пользоваться, но проявлять осторожность, особенно при исключении из поля зрения «пустой сердцевины» батолита и трактовке куполов акробатолитовой зоны.

Рассмотрим кратко связь месторождений различных металлов с гранитоидами различного состава и структуры.

Железорудные месторождения контактово-метаморфического типа встречаются в гранитах и гранодиоритах, но тяготеют к граносиенитам и сиенитам.

Вольфрамовые месторождения жильного типа (кварцево-вольфрамитовые, кварцево-гюбнеритовые и др.) приурочены к нормальным гранитам и гранитам повышенной кислотности, часто с проявлениями новообразований, связанных с летучими компонентами; при этом интрузии принадлежат к средним глубинам. Рудные жилы залегают как в самих гранитах, так и в близлежащих породах кровли. Шеелитоносные скарны в большинстве случаев связаны с адамеллит-гранодиоритовыми интрузиями средних глубин. Но и здесь встречаются как граниты, так и гранодиориты. Изредка (Тырны-Ауз на Кавказе) проявляются и интрузии гипабиссального облика. Месторождения залегают на самом контакте или очень близко от контакта с известняками и редко располагаются в нескольких стах метров от вскрытого эрозией контакта (Кумбель, Киргизия) в осадочных породах.

Молибденовые руды вследствие подавляющего влияния колоссального Клаймакса в Колорадо (США) разведаны и изучены плохо, за исключением СНГ. Месторождения, как штокверковые, так и жильные и скарновые, тяготеют к гранитам и гранодиоритам средних глубин, отдавая предпочтение гранитам. Подавляющее большинство отечественных месторождений связано с гранитами. В западной части США встречаются локальные ассоциации молибденовых руд с гранодиоритами и гипабиссальными

интрузиями. Скарновые молибденовые месторождения известны, кроме Тырны-Ауза и Средней Азии, только в Марокко, где они связаны с гранитами. Жилы чаще всего приурочены к эндоконтактам интрузий, но встречаются и в ближайшем экзоконтакте.

Медные месторождения жильного и скарнового типа явно тяготеют к более основным разностям гранитоидов—гранодиоритам, кварцевым диоритам, монцонитам. Интрузии большей частью принадлежат к средним глубинам. Оба указанных типа медных месторождений имеют весьма малое значение в экономике меди; в СНГ они играют ничтожную роль.

Нужно отметить, что другие промышленные типы медных месторождений (а иногда и жильные) часто связаны с малыми интрузиями. К последним в первую очередь приурочена большая часть медно-порфировых руд.

В общем, о медных месторождениях можно сказать, что они связаны со всеми типами интрузий по составу и глубинности, а также встречаются внутри интрузий и далеко за их пределами. Поэтому при поисках этих руд не нужно себя «гипнотизировать» каким-либо определенным составом гранитоидов, которые предположительно являются материнскими по отношению к медным месторождениям.

Свинцово-цинковые месторождения в главной своей массе имеют совершенно отчетливую связь с гипабиссальными кислыми интрузиями типа гранит-порфировых. Взаимоотношения многих крупных месторождений с изверженными породами не выяснены, так как последние не обнажены. Только незначительное количество месторождений, обычно жильных, приурочено к интрузиям средних глубин.

Говоря о месторождениях олова, надо рассматривать три основные оловоносные формации, принятые в классификации С. С. Смирнова, так как интрузии, с которыми они связаны, ведут себя различно.

1. Оловоносные пегматиты всегда залегают в гранитах, обычно биотитовых и крупнозернистых. Большая часть гранитов в районах развития оловоносных пегматитовых жил СНГ относится к умеренно кислому ряду с повышенным содержанием глинозема и преобладанием натрия над калием. Хотя здесь часто встречаются порфировидные граниты, они относятся к средним глубинам и даже к более глубинным разностям. Оловоносные пегматиты залегают в зонах эндо- и экзоконтакта, в последнем случае иногда на значительном удалении от видимого контакта: до 1—2 и даже до 3 км.

2. Кварцево-касситеритовая формация связана с гранитами, различными по глубинности, но весьма близкими по составу. Они нередко отличаются повышенным количеством SiO_2 , Al_2O_3 и K_2O и пониженным содержанием CaO и MgO . Этим гранитам свойственно присутствие новообразований, свидетельствующих о повышенной роли легколетучих компонентов. Что касается глубинности интрузий, то обычно они относятся к средним глубинам. Очень характерно и поведение рудных жил: среди них также имеются различные представители (с малыми интрузивными телами связаны

рудные грейзены, а с крупными—нормальные касситерито-кварцевые жилы). Грейзеновые и топаз-касситеритовые тела тяготеют преимущественно к интрузивам, а кварцево-касситеритовые жилы встречаются в эндо-и экзоконтактах.

3. Касситерито-сульфидная формация в противоположность двум предыдущим чаще встречается в связи с гранодиоритами и даже кварцевыми диоритами. Изверженные породы очень часто представлены гипабиссальными и ультрагипабиссальными разностями. В частности, встречаются малые интрузии гранодиорит-порфиров. Жильные месторождения этой формации большей частью удалены от интрузивов на значительные расстояния. Исключение составляют скарново-касситеритовые месторождения, которые связаны с гранитами. Для данной формации характерна также слабая дифференцированность материнских интрузий.

Все изложенное дает право заключить, что связь оловоносных формаций с интрузиями проявляется более отчетливо, по сравнению с большинством других металлов. Отчасти это объясняется хорошей изученностью месторождений олова учеными.

Материнские интрузии месторождений золота часто носят слабо выраженный, а иногда и отчетливый, щелочной характер.

Но в общем здесь наблюдается весьма пестрая картина связи месторождений с гранитами, гранодиоритами, кварцевыми диоритами и диоритами. Последние даже наиболее типичны для некоторых районов. Отмечаются, кроме того, малые интрузии гибридного характера, стоящие ближе к диоритам.

С массивами биотитовых (реже роговообманково-биотитовых и двуслюдистых) микроклиновых гранитов геосинклинальных областей генетически связаны редкометальные и частично мусковитовые и полевошпатовые пегматиты. Редкометальные, т. е. литиевые, танталовые, бериллиевые и цезиевые, пегматиты тяготеют к интрузиям определенной глубинности и не бывают связаны с гипабиссальными фациями интрузивных пород; по данным А. И. Гинзбурга, глубина формирования этих пегматитов колеблется примерно от 4—5 до 7—8 км.

А. И. Гинзбург указывает, что размещение пегматитовых полей в пределах отдельных провинций зависит от тектонических зон и апикальных частей материнских интрузивов. При довольно глубоком эрозионном срезе большая роль в распределении пегматитов принадлежит рельефу кровли интрузива, причем особенно благоприятны для их локализации глубокие депрессии в кровле, останцы кровли, боковые пологие глубинные купола. Очень часто редкометальные пегматиты приурочены к местам пологих контактов, особенно эндо- и экзоконтактов.

Пегматиты обычно группируются в поля длиной в десятки и сотни километров и шириной от нескольких километров до 10—15 км, где сотни и даже тысячи тел строго подчиняются структуре района. В мире известно свыше 40 крупных пегматитовых полей, но только 1—5 % тел в этих про-

винциях представляют практический интерес. Вмещающими породами иногда служат материнские интрузивы, но чаще песчано-сланцевые флишевые формации и их метаморфические аналоги. Пегматитовые поля встречаются в докембрии (~60%), а также в связи с каледонской, варисской и альпийской эпохами диастрофизма.

ПРИЛОЖЕНИЕ

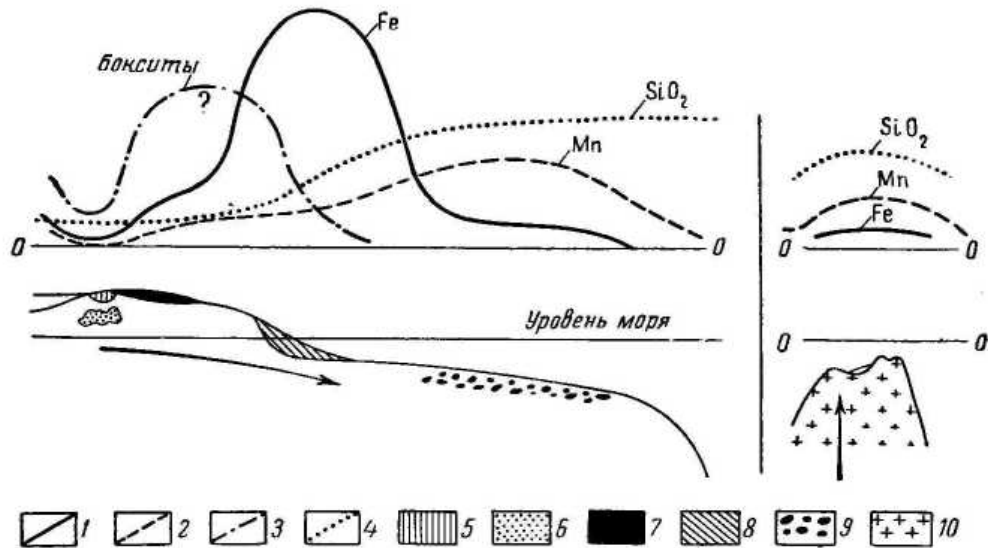


Рис. 1. Фациальный профиль железных, марганцевых руд, бокситов и кремнекислоты (по Н. М. Страхову)

1 — кривая распределения Fe-руд между различными железорудными фациями; 2 — кривая распределения Mn-руд между различными марганцеворудными фациями; 3 — кривая распределения бокситов между различными бокситоносными фациями; 4 — распределение SiO_2 между различными осадочными фациями; 5 — руды коры выветривания; 6 — руды зоны глубокой циркуляции вадозных вод; 7 — озерные и болотные руды; 8 — сидеритовые руды паралических угленосных бассейнов; 9 — сидериты нижней (глинистой) зоны шельфа; 10 — осадочно-эффузивные окисные, сульфидные и карбонатные руды. Стрелки показывают направление выноса рудообразующих растворов.

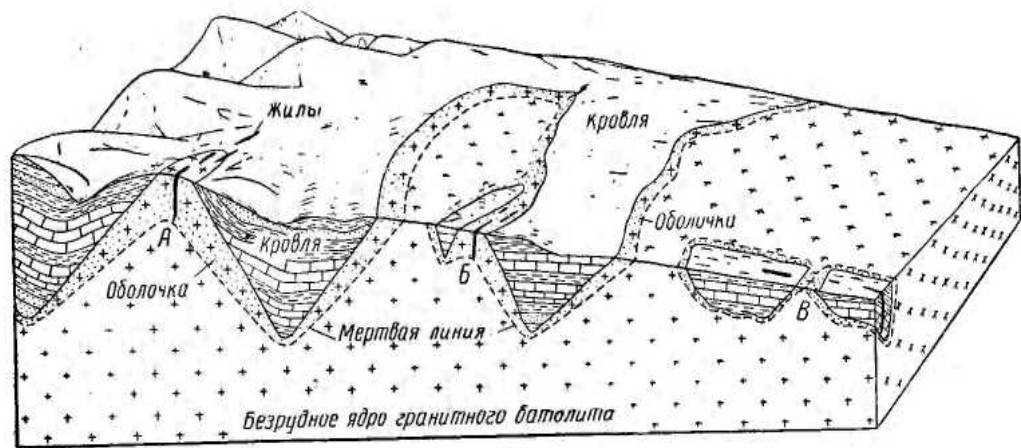


Рис. 2. Схема строения рудоносного батолита, срезанного наклонной плоскостью (по В. Эммонсу)

А — верхний купол; жилы лежат внутри купола и вблизи от него, располагаясь параллельно длинной оси выхода; Б — купол с останцами нависающей кровли; жилы лежат в граните между ним и остатками кровли; В — жилы развиты в останцах кровли, имеющих форму песочных часов благодаря выходу гранитов, разделяющему останцы. Жилы лежат вблизи выхода гранитов, но в большинстве случаев располагаются поперек него.

Табл. 1

Важнейшие петрографические особенности крайних фациальных разностей верхневарисских гранитных интрузий средней части Западного Тянь-Шаня

Более глубинная фация	Менее глубинная фация
В эндоконтакте возникают мало-мощные зоны мелкозернистых и гранит-порфировых структур. Характерна выдержанность структурных признаков центральных частей массивов и развитие крупнозернистых и среднезернистых структур	В эндоконтакте устанавливаются порфировые и гранофировые структуры и весьма мощные зоны мелкозернистых структур. Характерна невыдержанность структурных признаков даже в центральных частях массивов и развитие мелкозернистых гранит-порфировых структур
На контакте с известняками наблюдаются нормальные скарны, часто значительной мощности	На контакте с известняками выявляются характерные силикатные гидротермальные минералы, обычно обильно импрегнированные сульфидами
В качестве жильных дериватов широко развиты пегматиты с различной высокотемпературной рудной минерализацией	Нормальные пегматиты отсутствуют. Часто устанавливаются мельчайшие миаролитовые микропегматиты
В эндоконтактах интрузий часто возникают мощные зоны грейзенизации	В эндоконтакте и ближайшем экзоконтакте часто развиваются интенсивные процессы эпидотизации
Плагиоклазы отличаются отсутствием зональности либо слабым ее проявлением	Плагиоклазы часто характеризуются резкой зональностью
Калишпаты представлены микро-клипами с пертитовыми вростками. Интенсивно развиты процессы аль-битизации калишпатов	Калишпаты представлены ортоклазом, обычно значительно пелитизированным. Пертиты отсутствуют или представлены мпкрсперрито-выми вростками. Альбитизация калишпатов в широких масштабах не устанавливается

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

1. МЕТАМОРФОГЕННЫЕ КРИТЕРИИ

Известно, что некоторые месторождения полезных ископаемых возникают в результате процессов метаморфизма. Другие месторождения—магматического или осадочного генезиса—порой подвергаются различным преобразованиям под влиянием регионального метаморфизма, захватившего толщи вмещающих горных пород.

В первом случае месторождения называются метаморфическими и, или метаморфогенными, поскольку своим происхождением они полностью обязаны метаморфизму. Вполне вероятно, что ряд рудных месторождений, относимых обычно к магматогенным, в действительности являются метаморфогенными, так как в результате изменений среды, вызванных повышенными давлениями и температурой, минеральные формы и ассоциации, сходные с гидротермальными магматогенными образованиями, могут возникать и при участии водных растворов немагматического происхождения. С этой точки зрения заслуживает внимания группа рудных месторождений, не имеющих пространственных связей с магматическими горными породами. Вероятно, часть таких месторождений залегающих среди сильно метаморфизованных пород, могла быть сформирована в процессе регионального метаморфизма; это еще в 1912 г. отмечал К. И. Богданович.

Типичными метаморфогенными месторождениями можно считать месторождения титана (рутил, ильменит) в кристаллических сланцах, метаморфизированных интрузивах и эффузивах, амфиболитах. Сюда же нужно относить жилы с погребями пьезокварца, приуроченные к кварцитам на Алдане.

Вторая группа месторождений, называемых метаморфизованными, значительно более обширна и имеет представителей среди месторождений почти всех видов полезных ископаемых, поскольку многие месторождения, залегающие в допалеозойских или палеозойских горных породах, были образованы в отдаленные времена и претерпели более или менее значительные изменения вместе с толщами вмещающих пород.

Для целей поисков и разведки важно, что большая группа разнообразных месторождений, как метаморфических, так и метаморфизованных, обладает специфическими отличиями и в составе, и в строении, и в условиях залегания, и особенно в характере и степени метаморфизма вмещающих пород. Поэтому некоторые проявления регионального метаморфизма в исследуемом районе служат основанием для предположения о возможности выявления соответствующих месторождений полезных ископаемых.

Можно назвать ряд хорошо знакомых геологам проявлений метаморфизма, свидетельствующих о возможности обнаружения различных полезных ископаемых; сюда относится серпентинизация массивов ультраоснов-

иых пород, графитизация гнейсов, ослюденение и др. Кроме того, всякое проявление интенсивного метаморфизма и обычно связанной с ним тектонической нарушенности горных пород в древних складчатых областях всегда настораживает поисковика, ибо в этой обстановке возможны находки не только древних метаморфогенных или метаморфизованных месторождений, но и более молодых эпигенетических месторождений, в том числе принадлежащих к молодым глубинным интрузиям.

Так или иначе с метаморфизмом связано появление месторождений мусковита и флогопита, месторождений графита, всех видов железистых кварцитов, мраморов и некоторых месторождений исландского шпата, граната, титана и др.

2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ.

Геохимические закономерности приобретают все большее значение при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Сущность их заключается в закономерностях поведения химических элементов в земной коре, обусловленных свойствами самих элементов, физико-химической обстановкой и особенностями геологических процессов.

Для поисковых целей представляют интерес следующие главные геохимические закономерности:

- 1) поведение химических элементов в процессах эндогенного рудообразования и, в частности, в процессах метаморфизма и метасоматоза;
- 2) поведение химических элементов при экзогенных процессах, и, в частности, в зоне окисления;
- 3) парагенетические закономерные ассоциации элементов, минералов и месторождений.

Фактические материалы показывают, что часто в рудоносных интрузиях, продуктивных осадочных и метаморфических толщах наблюдается повышенное содержание определенных элементов по сравнению с кларковым. Так, в продуктивных породах Рудного Алтая отмечается повышенное содержание (в несколько раз по сравнению с кларковым) свинца, цинка, серебра; в оловоносных интрузиях — олова, редких элементов и др. Следовательно, на основании повышенного содержания рудных компонентов можно считать определенные породы и районы их распространения потенциально рудоносными. Существенно важно поведение химических элементов, их ассоциаций и соединений при изменениях среды в процессах метаморфизма, метасоматоза в глубинных зонах и окисления в приповерхностной зоне. Геохимические закономерности, выявленные при этом, являются основанием для геологических прогнозов об изменениях оруденения на глубину и по площади. Исследование этих важнейших для поисков и разведки вопросов — задача генетической минералогии и учения о геологии месторождений полезных ископаемых.

Большую помощь при поисках оказывают первичные и вторичные ореолы рассеяния компонентов, возникающие вблизи рудных тел в процессе

их образования или разрушения. Они относятся к поисковым признакам и рассмотрены ниже.

Парагенетические ассоциации элементов, минералов и месторождений также с успехом используются при выборе направления и проведения поисковых работ, а также для перспективной оценки найденных объектов.

Использование парагенеза элементов может оказать существенную помощь при поисках одних элементов по наличию других и при оценке поискового значения ореолов рассеяния рудных элементов в изверженных, осадочных и метаморфических породах. При оценке обнаруженных месторождений и рудопроявлений знание парагенезиса элементов позволяет установить весь комплекс главных, второстепенных и рассеянных элементов. Например, в свинцово-цинковых рудах обычно присутствуют Ag, Cd и другие элементы, в железных рудах — Mn, V, Bi, Co, в месторождениях урана — Ni, Co, Cu или Co, Bi, Ni, Ag.

Как известно, существуют первичные и вторичные ассоциации минералов. Примерами первичной ассоциации являются галенит, сфалерит; киноварь, золото и кварц; пирит и халькопирит; алмаз и пироп; мусковит и полевошпат и т. п. Ассоциации вторичных минералов, развивающиеся по первичным, могут быть следующие: по галениту развиваются англезит и церуссит, по сфалериту — смитсонит и каламин, по фсенопириту — скородит, по кобальтину — эритрин и т. д. Большое поисковое значение имеет также парагенезис месторождений полезных ископаемых, который позволяет по наличию одних видов полезных ископаемых искать другие. Примерами такого парагенезиса являются эндогенные месторождения хрома и платины, никеля и кобальта, никеля и меди, апатита и редкоземельных элементов, прожилково-вкрапленных месторождений меди и молибдена, кварц-грейзеновых месторождений олова, вольфрама и молибдена, пегматитовые месторождения бериллия и тантало-ниобатов, месторождения вермикулита и флогопита в ультра-основных щелочных породах и др.

Примерами парагенезиса месторождений полезных ископаемых в коре выветривания являются месторождения железа и силикатного никеля, каолина и огнеупорных глин. Из осадочных месторождений можно привести следующие парагенетические ассоциации: угля и германия, угля и огнеупорных глин, угля и урана; марганца и железа; урана и ванадия, урана и фосфора; галоидных солей натрия, калия и магния, известняка, доломита и гипса; гипса и серы и т. д.

3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

В общем комплексе поисковых геологических критериев необходимо упомянуть и гидрогеологические критерии. Под последними при поисках подразумеваются прямые и косвенные указания на присутствие полезных ископаемых, которые можно получить в результате изучения путей движения, а также состава подземных вод. (Но изменения состава вод скорее от-

носятся к вторичным ореолам рассеяния, т. е. поисковым геологическим признакам.)

Движение подземных вод по водопроницаемым пластам, трещинам и разломам может дать косвенные указания на присутствие, например, пластов каменного угля, а выходы источников, например расположенных на одной линии—на наличие разлома, который в свою очередь указывает на возможность концентрации каких-либо руд. Эти же критерии иногда дают прямые указания на присутствие в районе тех или иных полезных ископаемых.

Факт существования в земной коре промышленных гипергенных месторождений меди, никеля, а также спорадические находки отдельных желваков и зерен галенита, сфалерита, медных сульфидов, скоплений флюорита и др. говорят о переносе некоторых элементов на значительные расстояния подземными и поверхностными водами. Появление этих элементов в растворах может происходить за счет выщелачивания их из горных пород (чаще изверженных), в которых они находятся в рассеянном состоянии, но может быть и результатом выщелачивания металлов из соответствующих месторождений. Кроме того, воды могут растворять разнообразные месторождения ископаемых солей: калийных, магниевых, борных.

В последние годы гидрохимические исследования оказывают реальную помощь геологу в поисковых работах. Наиболее широко и эффективно они используются пока при поисках радиоактивных и медных месторождений. Гидрохимический метод поисков основывается на исследовании химического состава поверхностных и подземных вод. Главной особенностью гидрохимических исследований является установление фоновых содержаний элементов в исследуемом районе.

На первой стадии работ, обычно при геологической съемке масштаба 1 : 200 000, на основании гидрохимических исследований выясняется общая перспективность района, выделяются участки для детальных исследований. При более детальных работах намечаются рудоносные участки для дальнейших комплексных поисково-разведочных работ.

При гидрогеохимических поисках различают прямые и косвенные поисковые критерии. К прямым критериям относится повышенное содержание в воде основных металлов, к косвенным—повышенное содержание сульфат-иона и металлов-спутников. Наиболее широко могут быть использованы как поисковые признаки сульфат-ион, медь и цинк.

В зависимости от условий миграции элементов в подземных водах А. А. Бродский (1957) выделяет три группы компонентов минерализации:

- 1) компоненты, накапливающиеся в подземных водах (сульфат-ион, цинк). Эти компоненты широко распространены в породах, устойчивы в воде, при выпадении из воды образуют воднорастворимые соединения;
- 2) компоненты, не рассеивающиеся в подземных водах (молибден);

3) компоненты, рассеивающиеся в подземных водах (медь, свинец и др.).

Иногда поисковым критерием может служить пониженная концентрация ионов водорода (pH); особенно это относится к областям развития медноколчеданных месторождений. Но необходимо иметь в виду, что пониженное значение pH часто бывает и не связано с развитием сульфидной минерализации.

На первой стадии гидрохимических исследований очень важно изучить распределение сопутствующих элементов; это позволит составить металлогеническую характеристику для данной области, что в дальнейшем облегчит выбор перспективных областей.

Распределение сульфат-иона, pH и рудных металлов зависит от многих факторов, из которых решающее значение, по А. А. Бродскому, имеют:

1) металлогенические условия, определяющие концентрацию сульфидов, интенсивность процессов окисления, пространственные соотношения первичных ореолов и рудных тел и т. д.;

2) палеогеографические и особенно палеогидрогеологические условия, обуславливающие стадию окисления месторождения и степень проработанности его зоны окисления, а также распределение и характер вторичных ореолов рассеяния месторождения;

3) литологический состав пород (в первую очередь их карбонатность), влияющий на интенсивность процессов окисления и на устойчивость металлов в воде;

4) особенности гидрогеологической зональности и степень раскрытое геологических структур, определяющие активность водообмена и условия проникновения кислорода воздуха и продуктов окисления в подземные воды.

Наличие в водах таких малораспространенных элементов, как бериллий, галлий, кадмий, олово, ванадий, цирконий, кобальт, висмут, сурьма, указывает на непосредственную близость месторождения, а эти данные являются уже типичным поисковым признаком.

4. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Геоморфологические критерии имеют важнейшее значение при поисках гипогенных и гипергенных месторождений. Особенно важны они для тех видов гипергенных месторождений, происхождение которых неразрывно связано с процессами, формирующими рельеф земной поверхности. Роль геоморфологических критериев еще более возрастает в связи с тем, что при полевых работах они достаточно быстро и легко выявляются.

В отношении рельефа все месторождения полезных ископаемых подразделяются на две большие группы: 1) месторождения, формирующиеся в связи с образованием рельефа, т. е. все экзогенные месторождения, и 2) месторождения, формирующиеся в главных чертах вне связи с рельефом, куда относятся эндогенные месторождения, включая и метаморфогенные. В

первой группе прежде всего следует выделить те месторождения, которые в своем генезисе связаны с современным рельефом или недавними рельефообразующими процессами. Это россыпи, многочисленные месторождения коры выветривания, некоторые месторождения бокситов, месторождения глин, песков, гравия и т. д. Такие месторождения обычно формируются в континентальных условиях, и для них, очевидно, геоморфологические критерии имеют основное значение.

Образование другой части экзогенных месторождений связано с древним рельефом. Сюда относятся главным образом многие морские месторождения: железных и марганцовых руд, бокситов, фосфоритов, карбонатных толщ и др. При поисках этих месторождений следует ориентироваться на палеогеографические реконструкции, выяснение особенностей древнего рельефа по целому ряду косвенных признаков. Следует отметить, что практическое осуществление таких реконструкций обычно встречает большие трудности.

Применение геоморфологических критериев дает наибольший эффект при поисках месторождений, связанных с геологическими процессами, которые протекали в континентальных условиях в кайнозойскую и частично в мезозойскую эру во многих частях территории СНГ.

Часто уже сама топографическая карта с горизонталями отражает такие особенности рельефа, например линейно вытянутые узкие депрессии, конусовидные или ступенчатые возвышенности и т. п., которые должны привлечь внимание поисковика. Аэрофотосъемки дают в руки поисковика (еще до выезда в поле) ряд дополнительных надежных геоморфологических критериев.

Прежде всего геоморфологические методы позволяют выявить площади возможного распространения месторождений, связанных с корой выветривания: бокситов, глин, железных и марганцовых руд и т. д. Как известно, развитию мощной коры выветривания способствуют не только определенные физико-географические условия, но и совершенно определенные условия рельефа, а именно пенепленизация страны. На этой стадии развития рельефа почти приостанавливается обновление экспозиции и поэтому процессы выветривания, перерабатывая по существу одну и ту же толщу пород, могут создавать самые крайние продукты выветривания. Следовательно, выявление пенепленизированных участков земной поверхности, особенно древних, имеет большое значение для успеха поисковых работ.

Необходимо отметить, что при одинаковых физико-географических условиях различный характер рельефа приводит к формированию различных типов коры выветривания. Например, если в условиях тропического климата местность представляет собой более или менее выровненную приподнятую или слабо наклонную поверхность, то формируется полный латеритный профиль коры выветривания и возникают месторождения латеритов. Если же выветривание в тропическом климате происходит в условиях расчлененного

рельефа, то образуется каолиновая кора выветривания с иным составом месторождений полезных ископаемых.

Геоморфологические исследования позволяют определить, какие части бывшего пенеплена при последующих эрозионных и денудационных процессах могли уцелеть вместе с полезными ископаемыми и какие оказались уничтоженными. Нередко в пределах современных возвышенностей вся древняя кора выветривания оказывается уничтоженной и полезные ископаемые сохраняются только в понижениях рельефа под покровом более молодых осадков.

Для поисков глин и особенно бокситов крайне важны не только эрозионные депрессии, но и участки, опущенные по сбросам. Если даже опущенная часть настолько перекрыта молодыми осадками, что современная поверхность представляет собой относительно ровную местность, то самые линии сбросов все-таки могут быть выражены геоморфологически. Это объясняется различным составом пород по разные стороны от линии сброса, а также легкой разрушаемостью пород, попавших в зону сброса. Поиски бокситов, захороненных одним из указанных путей, особенно перспективны на Южном Урале и в Казахстане.

Геоморфологические критерии лежат в основе поисков всех типов россыпей: золота, платины, касситерита, вольфрамита, алмаза, монацита, циркона и других устойчивых минералов. Ю. А. Билибин (1938) так сформулировал вопрос о связи россыпей с геоморфологией: «Образование россыпи есть отдельный, сравнительно краткий момент в непрерывном и длительном процессе преобразования рельефа земной поверхности. Действительно, для образования россыпи необходимо разрушение коренного месторождения (процессы выветривания), перемещение продуктов разрушения под влиянием силы тяжести вниз по склонам, к уровню речных долин (процессы денудации), перенос, обработка и отложение обломочного материала водными потоками в процессе преобразования речных долин (процессы эрозии), иногда с выносом этого материала в водные бассейны или с переработкой его долинными ледниками. Всем этим процессам принадлежит решающая роль и в преобразовании форм рельефа. Изучением последних и процессов их развития занимается геоморфология. Из сказанного ясна та тесная и неразрывная связь, которая существует между геоморфологией и учением о россыпях».

Изложенное в такой же мере относится и ко многим другим видам месторождений полезных ископаемых, связанным с молодыми рыхлыми образованиями и с современным рельефом—к месторождениям песков, гравия, галечника, валунов и щебня, а также некоторых видов глин и суглинков.

Для того чтобы организовать поиски россыпей и перечисленных выше месторождений полезных ископаемых, необходимо прежде всего выявить области длительного преимущественного сноса и области преимущественной аккумуляции. Частично на этот вопрос отвечает сам характер современного

рельефа (горный, холмистый, равнинный), но этого далеко не достаточно. Для проведения эффективных поисков следует установить историю развития рельефа и формирования молодой рыхлой континентальной толщи и выяснить основную тенденцию в развитии рельефа за последнее время.

Как показывают многочисленные геоморфологические исследования последних лет, при формировании современного рельефа огромную роль играют новейшие тектонические движения самого различного характера. Одни участки испытывают поднятие, другие—опускание. Нередко на одних и тех же участках знаки движения меняются, и это немедленно отражается на характере рельефа и рыхлых осадках, заключающих те или иные месторождения, а также на месторождениях гипогенных.

Поэтому при поисках очень важно непосредственно в полевых условиях и по материалам аэрофотосъемки установить области поднятия или опускания. Для первых характерны глубокое эрозионное расчленение, У-образные долины, устойчивость русла рек, цокольные террасы, глубоко врезанные меандры и т. д. В противоположность этому зонам опускания свойственно заволакивание площади различными рыхлыми образованиями, широкое развитие бессточных водоемов, свободное меандрирование рек и т. д. Темпы поднятия также сказываются в формах долин: при непрерывных и быстрых поднятиях обычно создаются каньоны, теснины, высокие террасы и др.

Более сложная картина наблюдается в районах глыбовых движений. На приподнятых по отношению к соседним блокам резко проявляется интенсивная регрессивная эрозия, охватывающая площадь всего блока. Для этих площадей характерны порожистые реки, ломаный профиль рек (в зависимости от характера размываемых пород), распространение размываемой отмершей гидрографической сети в виде обрывков. В то же время в опущенных блоках начинается интенсивная аккумуляция осадков и свободное меандрирование рек. Кроме того, в районах глыбовых движений нередко разрывается некогда единая поверхность древнего пенеплена и вместе с тем разобщается древняя долинная сеть, которая может содержать россыпи и другие полезные ископаемые.

Возраст явлений поднятия и опускания легко устанавливается по порогам, водопадам, неразмывтым сбросовым уступам и многим другим признакам. Эрозионная деятельность в процессе поднятия области дифференцируется: активизируется в местах, препятствующих равномерному размыву плотика, и ослабляется на участках развития мягких пород. Обычно в твердых породах образуются суженные долины, а в мягких в результате боковой эрозии долины расширяются. При всех этих явлениях очень ценным свидетелем истории развития реки служат террасы различных уровней, часто сами по себе являющиеся объектом поисков благодаря заключенным в них ценным легко осваиваемым россыпям.

Ю. А. Билибин (1938) предложил интересную схему зональности россыпей, с помощью которой можно предугадать характер россыпей в том или

ином районе. Эта схема основывается на изучении фаз развития речной, сети, т. е. на геоморфологических построениях, и имеет поисково-оценочное значение.

Циклические изменения, происходящие в речной сети, в связи с изменениями базиса эрозии, в большинстве случаев распространяются по речной сети снизу вверх. Фаза развития рек зависит от удаленности от базиса эрозии. При прочих равных условиях (характер пород, многоводность) участки речной сети, одинаково удаленные от базиса эрозии, находятся в одинаковых условиях и характеризуются решительным преобладанием' россыпей определенного типа. Одна и та же речная система в одно и то же время находится в различном состоянии, и на участках, расположенных выше по течению, т. е. дальше от базиса эрозии, располагаются зоны более ранней фазы развития.

Схема зональности Ю. А. Билибина построена на той идее, что, соединяя между собой участки рек района, находящиеся в одной фазе, можно получить зоны с однотипным характером россыпей.

Весь период преобразования долины Ю. А. Билибин подразделяет на следующие главные фазы:

1. Фаза существования разработанной долины старого цикла эрозии.-
 2. Фаза углубления долины.
 3. Фаза расширения долины.
 4. Фаза существования разработанной долины нового цикла эрозии,
- Каждая фаза развития, а вместе с тем и каждая зона речной сети характеризуется определенным типом россыпей:

1. Зона разработанных долин старого цикла отличается развитием долинных россыпей, соответствующих этому циклу эрозии.

2. Зоне углубления долин свойственно образование русловых россыпей в новой углубленной долине и максимальное развитие террасовых россыпей старого цикла эрозии.

3. В зоне расширения долин наблюдается постепенное преобразование русловых россыпей в долинные и уничтожение террасовых россыпей. В верхних по течению частях этой зоны располагаются типичные русловые россыпи, в нижних—типичные долинные, а в середине—переходные между ними типы.

4. Зона разработанных долин нового цикла характеризуется развитием долинных россыпей, соответствующих этому циклу эрозии.

Первая и четвертая зоны распространяются на большие пространства и существуют значительный промежуток времени, а вторая и третья занимают небольшие пространства и существуют только в период преобразования долин. Все зоны постепенно движутся вверх, причем четвертая зона все время увеличивается и, наконец, остается единственной до нового цикла, где будет играть роль первой зоны.

Нельзя забывать, что это только схема и в действительности процесс преобразования долин значительно сложнее. В этой схеме не затрагиваются

вопросы древних долин, террас, соответствующих иным очертаниям рельефа, которые могут быть расшифрованы геоморфологическими методами.

Использование геоморфологических критериев для поисков долинных, русловых и террасовых россыпей является сравнительно несложным делом. Именно эти россыпи в прошлом нередко бывали обнаружены практиками.

При поисках используется много деталей. Так, замечено, что в каньонообразных долинах с большим уклоном практически нет россыпей, в то время как пологие участки долин, следующие за крутыми, благоприятны для их накопления. Бывают благоприятны резко расширяющиеся участки долин и участки, следующие за крутыми перепадами реки. В общем случае долинные россыпи представляют значительно большую ценность, чем русловые, так как им обычно свойственна хорошая сортировка.

Неблагоприятным фактором для концентрации полезных ископаемых является положение разрушаемых выходов на крутых склонах долин, когда полезный материал распыляется в массе «пустых» отложений. Благоприятная обстановка создается, когда размыв совмещается с химическим выветриванием или когда размывается рудоносная кора выветривания, а также когда серия ключей разрушает и размывает коренные выходы и эти ключи выносят весь материал «для перемыва» в крупные долины.

Геоморфологические критерии на современном уровне знаний и опыта должны способствовать обнаружению не только обычных россыпей, указанных выше, но и значительно более сложных: террасовых россыпей высоких уровней и особенно древних долин, а также погребенных россыпей. Исследованиями последних лет (И. С. Рожков, С. Г. Мирчинк, В. Г. Лебедев и др.) установлено, что во многих золотоносных районах имеются древние золотоносные долины. В частности, это касается бассейнов рр. Лены, Енисея и Оби. Енисейский кряж, Патомское нагорье и Кузнецкий Алатау сформировались в каледонскую и варисскую эпохи. В последующий период шло их разрушение до пенепленизации. В связи с поздними тектоническими движениями пенеплен был расчленен, а глубокие депрессии заполнены мезозойскими и третичными осадками. Образовалась сеть долин, остатки которой сохранились на современных водоразделах. Эти долины имеют выположенные склоны и характеризуются шириной от 1 до 4 км. Направление их, обычно согласное с простиранием геологических структур, не совпадает с современным. Россыпи в таких долинах располагаются на различных уровнях (100—120—150—200 м) и принадлежат к типу погребенных.

В прошлом эти обрывки прежних долин и связанных с ними россыпей часто пропускались при поисках. Но при современных способах поисков они должны быть обнаружены, и выявлению их помогает изучение геоморфологии района. Последнее, в свою очередь облегчается аэрофотосъемкой. Еще более трудной и важной можно считать проблему погребенных россыпей разного типа и возраста в зонах опускания. Практически молодые перекрытия образованы эффузивами и отложениями

морского, озерного и ледникового происхождения, причем в разрезе иногда встречаются два и более золотоносных пласта. В этом случае один из пластов залегает на ложном плотике.

Такие россыпи часто имеют третичный и мезозойский возраст, как доказано для Урала, Западной Сибири, Енисейского края, Казахстана и Дальнего Востока. Но нередко погребенные россыпи встречаются и среди отложений четвертичного возраста. Состав перекрывающих пород включает долинные, озерные, ледниковые отложения мощностью до 40—60 м, делювий, коллювий и т. д.

Сложной геолого-геоморфологической проблемой считается изучение погребенных россыпей в районах неоднократно повторявшегося оледенения. Здесь геоморфологический анализ должен соединяться со стратиграфическими исследованиями четвертичных отложений, а также с петрографическим изучением ледниковых валунов. Не вдаваясь в детали этого вопроса, можно вскользь остановиться на разрезе долин Ленского района, чтобы убедиться в сложности всей картины в целом.

Относительно россыпей Ленского района (рис. 1) В. Г. Лебедев говорит: «В процессе сложной истории формирования рельефа образовались следующие золотоносные россыпи:

а) аллювиальные доледниковые россыпи первой эпохи выравнивания страны. Промышленная ценность их еще не выявлена;

б) аллювиальные доледниковые россыпи второй эпохи выравнивания страны. Промышленная ценность их также еще не выявлена.

Поиски россыпей этих типов осложняются тем, что в последующую ледниковую эпоху часть из них была уничтожена;

в) шесть золотоносных аллювиальных горизонтов, сформировавшихся в длительную межледниковую эпоху в обширных хорошо развитых долинах, погребенных в ледниковую эпоху мощными моренными и флювиогляциальными отложениями. Это наиболее надежные и богатые россыпи в области распространения ледников второй эпохи оледенения;

г) послеледниковые (современные) аллювиальные россыпи, уступающие по своей промышленной ценности предыдущему типу. Распространены довольно широко, особенно в перигляциальной области».

В центре схемы — доледниковая погребенная эрозионная долина с серией золотоносных погребенных террас. В левой части схемы — послеледниковая эрозионная долина, срезавшаяся в днище оины-трога, образованной при наложении деятельности ледника на доледниковую эрозионную долину

В. Г. Лебедев, характеризуя работы по россыпям Сибири, пишет: «В течение более столетнего существования золотой промышленности в Сибири добыча россыпного золота осуществлялась главным, образом из русловых и долинных россыпей четвертичного возраста, которые благодаря приуроченности к современным формам рельефа легко обнаруживались при поисках и разведках. Кроме того, в некоторых случаях эксплуатировались

различного возраста элювиальные и делювиальные россыпи и четвертичные аллювиальные россыпи низких надпойменных террас. Вся эта группа россыпей характеризуется простотой своего строения, небольшой глубиной залегания и хорошо выраженной связью с современными формами рельефа».

Постепенно золотая промышленность стала, образно выражаясь, подниматься от русел рек на склоны и далее на водораздельные пространства. Этот процесс ее развития протекал в разных золотоносных районах по-разному, в разное время и разными путями. Так, например, в бассейне р. Лены, где первые прииски еще в прошлом столетии возникли в области развития неглубоких четвертичных россыпей простого строения, старатели очень скоро нашли богатейшие золотоносные россыпи в древних долинах и на высоких террасах по рр. Бодайбо и Ваче. На Урале, несмотря на то, что старателям уже давно были известны россыпи, не связанные с современными долинами (в районе г. Невьянска—россыпи «Белые пески», «Просек» и др., в Висимском районе—платиновые россыпи Александровского лога, Журавлева лога и пр.), геологи только в недавнее время осознали, что это остатки древней мезозойской и третичной гидрографической сети и направили поиски по правильному пути.

Можно привести много примеров по Салаиру, Енисейскому краю, Кузнецкому Алатау, Восточным Саянам, Южному Алтаю, когда древние россыпи еще в начале XX столетия случайно открывались и быстро отрабатывались старателями, но этому своевременно не придавалось должного значения и необходимые геологические выводы не делались. В Западной Сибири, например в Салаире, Горной Шории и т. д., только в последние годы после тщательных геолого-геоморфологических исследований геологи начали научно обоснованно открывать богатые мезозойские и третичные погребенные россыпи.

Большинство золотоносных районов Сибири располагается в пределах древних континентов, рельеф которых носит следы длительной и сложной истории развития, а рыхлые образования отличаются разнообразием и сложностью литологического состава, генезиса и возраста. Каждая область пережила стадии пенепленизации и формирования коры выветривания. В некоторых районах черты древнего пенеплена в значительной степени уничтожены и улавливаются с большим трудом (Кузнецкий Алатау, Горная Шория), в других—сохранены почти полностью (Салаир).

Вертикальные движения больших участков земной коры постоянно изменяли эрозионный режим, что приводило или к образованию глубоких речных долин с террасированными склонами или к полной перестройке долинной сети с новой конфигурацией и новым общим направлением стока. В связи с этим менялись пути сноса продуктов разрушения и расположение областей аккумуляции. Золото мигрировало не только из коренных месторождений в рыхлую толщу, но и в пределах самой рыхлой толщи.

Можно привести много примеров, когда геоморфологические методы приобретают важнейшее значение при поисках полезных ископаемых.

Как известно, ледниковые области обладают весьма специфическим комплексом форм рельефа и рыхлых отложений, с которыми связан ряд довольно ценных полезных ископаемых (пески, гравий, валуны, глины и т. д.). Только разобравшись в характере ледникового рельефа, можно с определенной долей вероятности указать те или иные области и даже районы, перспективные по нахождению полезных ископаемых. Такие образования, как озы, камы, друмлины, часто представляют собой скопления хорошего строительного материала, а эти формы наиболее типичны для ландшафта основной морены.

В пригляциальных областях широко развиты песчаные зандровые равнины с хорошо отмытыми кварцевыми песками (Мещера, Полесье). Для зоны конечноморенных образований наиболее характерны впадины, заполненные глинистым материалом, и т. д.

То же самое относится к областям проявления деятельности ветра, морского прибоя, карстовых процессов, солифлюкции и т. п. В каждой области проявления специфических рельефообразующих процессов имеются свои виды полезных ископаемых, и их поиски требуют применения геоморфологических методов.

При поисках гипогенных и метаморфогенных месторождений, формирование которых не зависит от рельефообразующих процессов, геоморфологические критерии также могут иметь важное практическое значение, так как в рельефе часто отображаются различные геологические образования, связанные с эндогенными рудообразующими процессами. Например, в ряде случаев положительные формы рельефа возникают и сохраняются благодаря тому, что рудовмещающие породы оказываются более устойчивыми против разрушения по сравнению с окружающими их породами. В этом отношении особенно характерны зоны окварцевания и скарнирования. Иногда зоны развития устойчивых по отношению к выветриванию жил образуют своеобразный ребристый и зубчатый рельеф.

То же можно сказать и об отрицательных формах рельефа, возникающих, в частности, вследствие легкого разрушения гидротермально измененных боковых пород. Примеров здесь можно привести значительно больше: явления серицитизации, хлоритизации, карбонатизации, оталькования и другие процессы бокового изменения пород находят отражение в образовании впадин, часто линейно вытянутых; сюда же относятся некоторые контакты, например между змеевиками и известняками, а главное, зоны разломов, милонитизации, трещиноватости, выветривание которых также создает пониженные формы рельефа.

5. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ.

Геофизические критерии основаны на изучении естественных физических полей, среди которых выделяются аномалии, указывающие на возможность обнаружения полезных ископаемых. Такими аномалиями являются магнитные, радиоактивные, гравитационные и аномалии

электрического поля. На практике в силу различных причин при производстве геофизических съемок выявляется множество геофизических аномалий, но лишь немногие из них связаны с полезными ископаемыми. Чаще всего магнитные аномалии фиксируют железные и медно-никелевые руды, участки повышенного гамма-излучения — радиоактивные руды, аномалии силы тяжести указывают на месторождения хромитов, каменной соли и т. д. При поисках алмазоносных кимберлитов большую помощь оказали магнитные съемки, которые фиксировали трубки по интенсивным магнитным аномалиям.

В последнее время все большее значение приобретают геофизические наблюдения, проводимые с искусственных спутников Земли и управляемых космических аппаратов. Эти наблюдения позволяют рассматривать изменения геофизических полей во времени и в пространстве.

ПРИЛОЖЕНИЕ

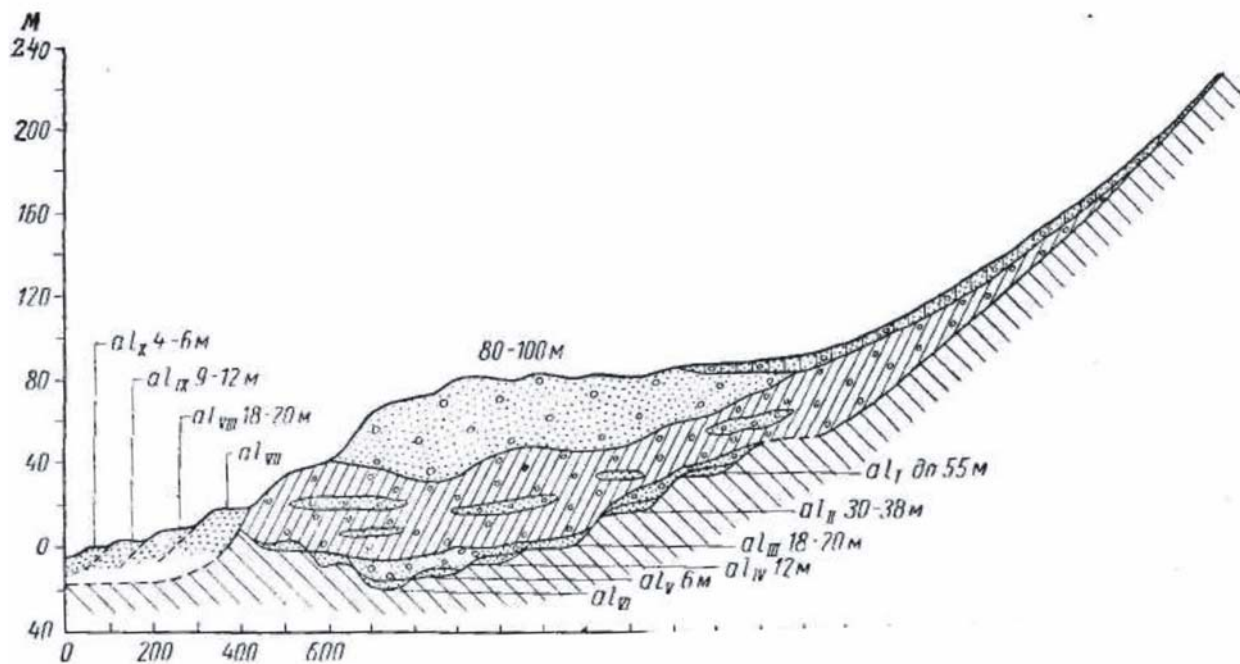


Рис. 1 Схема строения долин верхней и средней частей бассейна р. Жуй в Олекмо-Витимской горной стране (по В. Г. Лебеву)

1—флювиогляциальные и озерно-гляциальные отложения: илы, пески, галечники и валуны; 2 — морены и флювиогляциальные образования: валунные, песчаные и иловатые суглинки и илы; 3 — аллювий: пески, галечники, илы; 4—делювий: иловатые суглинки с валунами и щебенкой; 5—коренные породы

МОБИЛИЗМ И ПОИСКОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Тектоника литосферных плит и разработанные на ее основе геодинамические модели основных типов структурных элементов земной коры позволяют по-новому понимать условия формирования и закономерности размещения полезных ископаемых. Многие прогнозы, сделанные с помощью новой теории, подтвердились. В Тихом океане были обнаружены многочисленные гидротермальные поля и залежи медно-цинковых колчеданных руд на склонах быстро расширяющихся срединноокеанических хребтов. Выявлены новые месторождения полезных ископаемых: нефти и газа, золоторудные типа Карлин в надвиговом поясе запада США и в других районах. В 1981 г. за рубежом вышла книга Э. Митчелла и М. Гарсона «Минеральные месторождения и глобальные тектонические обстановки», а в 1985 г. второе издание книги А.А Ковалева «Мобилизм и поисковые геологические критерии». В этих и ряде других зарубежных работ с учетом роли значительных горизонтальных тектонических движений рассмотрены строение и эволюция важнейших рудных нефтегазоносных провинций.

Одной из главных геологических особенностей генезиса месторождений полезных ископаемых является тектоническая обстановка, в которой формируются скопления минерального сырья. До последнего времени тектонические критерии оставались слабо разработанными, так как игнорировалась роль значительных горизонтальных тектонических движений в развитии земной коры. Нетрудно заметить, что некоторые полезные ископаемые имеют четкую приуроченность к определенным геологическим формациям и основным типам структурных элементов земной коры (например, хромитовые, залегают в ультрабазитах, сформированных в срединно-океанических хребтах). Наоборот, другие полезные ископаемые встречаются в месторождениях разных промышленно-генетических типов, образовавшихся в различных структурных элементах земной коры.

Нефть и газ. Богатые нефтегазоматеринские продуктивные толщи образуются на пассивных окраинах континентов, в недоразвившихся ветвях рифтов (авлакогенах) и в шовных зонах столкновения континентов кавказского типа, на реликтовых площадях плит с океанической корой, а также на пассивных окраинах мезо-плит. При этом размеры плит, реликтовых площадей и авлакогенов определяют в первую очередь и масштабы возникающих нефтегазоносных бассейнов. Они будут крупными на мегаплитах и значительно меньшими на мезоплитах.

Пассивные окраины на современной поверхности Земли представлены северными шельфами Евразии, шельфами Северной Америки и Гренландии, шельфами Южной Америки и Западной Африки и другими структурами земной коры. В качестве примера нефтегазоносных авлакогенов можно привести бассейн дельты р. Нигера. К реликтовым площадям плит с

океанической корой в шовных зонах столкновения континентов кавказского типа («базальтовые окна» по Н. Я. Кунину) следует отнести Южно-Каспийский бассейн и бассейн Мексиканского залива.

Довольно высокопродуктивные, но меньшие по площади нефтеносные бассейны могут возникать на активных окраинах континентов кордильерского типа, в среднюю стадию их развития, когда в переходной зоне от континента к океану в благоприятной климатической и геохимической обстановке происходит накопление и конседиментационные деформации нефтематеринских флишевых толщ (нефтеносные бассейны Калифорнии).

Значительно более бедные органическим веществом нефтегазоматеринские толщи, видимо, могут накапливаться в окраинных морях, их шельфах и на континентальных склонах, а также на склонах островных дуг. В этих областях осадочные толщи с органическим веществом неразубоженные туфогенным материалом обычно имеют малую мощность. Поступление больших масс туфового материала с островных дуг и его последующие преобразования ведут к формированию толщ, в которых органическое вещество находится в небольших концентрациях и «законсервировано» в аргиллитизированных и хлоритизированных туфогенных породах. Вполне естественно, что такие нефтегазоматеринские толщи могут быть источником только небольших месторождений углеводородов (например, месторождения Сахалина).

Для седиментационных призм, образующихся на пассивных окраинах континентов и плит с переходной корой, характерно сочетание благоприятных для нефтегазонакопления условий: 1) карбонатные и глинистые нефтематеринские свиты, обогащенные органическим веществом, развитые в срединных частях бассейна, фациально переходящие на континентальном склоне и шельфе в мощные терригенные коллекторы — потенциальные резервуары, 2) по мере углубления бассейна и возрастания мощности осадочных призм геостатическая нагрузка вызывает отжим пластовых флюидов и возникновение градиента пластовых давлений в сторону материка. Моноклинальное падение пластов в сторону океана (или моря) способствует продвижению углеводородов к резервуарам за счет сил гравитационного всплывания, т. е. латеральной миграции, начинающейся еще в стадию накопления толщ, слагающих нефтегазоносные бассейны.

Описанные условия, определяющие формирование высокопродуктивных нефтегазоматеринских толщ на пассивных окраинах континентов, являются первой важной геотектонической поисковой предпосылкой крупных месторождений нефти и газа. Вторая важная поисковая предпосылка — палеоклиматическая. В настоящее время сумма накопленных фактов о палеоклиматических индикаторах размещения древних эвапоритов, красноцветов, тиллитов и т. п., включая сравнительно недавно полученные данные о протяженном поясе пермь-триасового угленакопления в центральной части Антарктиды, могут быть объяснены только дрейфом

литосферных плит. Признание дрейфа литосферных плит позволяет предположить, что наиболее богатые нефтематеринские толщи могли формироваться на пассивных окраинах плит, перемещающихся в тропических климатических поясах, менее богатые — в аридных и гумидных океанических зонах.

Третья важная предпосылка для поисков месторождений нефти и газа называется геодинамической, или субдукционной, так как она основана на существовании процесса субдукции континентальной коры.

Процесс субдукции при столкновении литосферной плиты, на прогибающейся окраине которой сформировалась седиментационная призма, включающая толщи — коллектора и нефтематеринские горизонты, с другой плитой, несущей окраину континента, островную дугу или другой структурный элемент, вызывает дальнейшую латеральную миграцию углеводородов, начатую при накоплении седиментационной призмы. Надвигаемая плита создает дополнительное давление и из перекрываемых плитой нефтематеринских толщ углеводороды «выдавливаются» и мигрируют вверх в толщи — коллекторы. Таким образом, по-видимому, не только температурный фактор, нагрев и физико-химические превращения, а и давление определяет образование и миграцию водонефтяной и парогазовой эмульсий, которые образуют скопления углеводородов. При этом чем больше субдуцируемая площадь осадочных нефтематеринских толщ, тем больше нефти и газа поступает в продуктивные толщи.

Зная субдукционный механизм миграции углеводорода, можно предположить, что часть скоплений нефти и газа в северной части бассейна Персидского залива, в Азербайджане и Туркмении образована в результате этого процесса.

В мезо-кайнозойском осадочном покрове Западно-Сибирской низменности, очевидно, не происходит субдукционной миграции. Однако в подстилающих палеозойских комплексах такая миграция может быть решающей, поэтому для более уверенных поисков палеозойской нефти следует проанализировать эволюцию палеозойских структур, применяя мобилистские региональные модели столкновения литосферных плит (континент—дуга, континент—континент), выделить осадочные призмы, сформированные на пассивных окраинах плит. В процессе анализа должны быть установлены наиболее перспективные для выявления нефти и газа структуры, которыми будут являться в первую очередь скрытые передовые прогибы, образованные в завершающие стадии столкновения плит, при формировании Западно-Сибирской эпигерцинской платформы и удаленные от этих зон столкновения наименее дислоцированные проницаемые толщи.

Золото. Золоторудные месторождения представлены несколькими промышленно-генетическими типами, крайне неравноценными по своей промышленной значимости: 1) в протерозойских конгломератах и терригенных углеродистых формациях; 2) гипотермальные и мезотермальные золото-кварцевые и золото-полиметаллические жильные, 3)

эпитермальные субвулканические золото-серебряные с теллуридами, 4) золотоносные россыпи, 5) золотосодержащие медно-порфировые и полиметаллические.

Значительные запасы золота содержатся и извлекаются из руд медно-порфировых месторождений. В последние годы появились новые промышленно-генетические типы месторождений, например, стратиформные месторождения тонкодисперсного золота в окварцованных доломитовых известняках (месторождение Каролин штата Невада, США).

Уникальное месторождение Витватерсранд, ураново-золоторудные месторождения Северной территории Австралии, а также такие объекты, как Блайнд-Ривер, несмотря на кажущееся большое различие в их геологическом строении и вещественном составе, формировались в однотипных тектонических обстановках — в авлакогенах, при наличии богатых источников золота в виде основных вулканических пород (а уран — из кислых гранитоидных или метаморфических пород).

Золоторудные месторождения встречаются в различных геодинамических обстановках: 1) в авлакогенах (преимущественно протерозойского возраста), 2) на активных окраинах континентов, 3) на островных дугах, 4) в зонах столкновения островных дуг с континентами и континентов с континентами.

Вместе с тем анализ размещения золоторудных месторождений на основе имеющихся палеорекоonstrukций показывает отсутствие золоторудных месторождений на пассивных окраинах (не осложненных авлакогенами), в областях рифтовых зон, в зонах обдукции океанической коры, не осложненных более поздними магматическими и гидротермальными образованиями при столкновении континентов.

Месторождения в протерозойских авлакогенах. Сравнительный анализ геодинамических обстановок, благоприятных для скоплений полезных ископаемых, позволяет рекомендовать поисковые работы в первую очередь в протерозойских образованиях. К их числу следует относить не только металлоносные конгломераты, но и толщи черных углеродистых песчано-сланцевых отложений, а также, вероятно, и другие терриггенные толщи протерозойских авлакогенов на участках, прилегающих к базитовым экструзиям, осложняющим строение толщ. Наибольший интерес представляют площади пологого залегания, так как в их пределах месторождения, как правило, не выходят на дневную поверхность. Это резерв слепых, еще не выявленных месторождений, о котором в свое время писал В. И. Красников. Площади протерозойских авлакогенов, еще не изученные бурением на глубину, подлежат первоочередному исследованию. Можно предположить, что еще на стадии рекогносцировочного обследования структурными скважинами в протерозойских авлакогенах могут быть встречены новые месторождения золота (типа месторождений Витватерсранда), меди, свинца и цинка (типа месторождений Маунт-Айза и

Хилтон), урана (типа Блайнд-Ривер и Витватерсранд), а также, возможно, и других полезных ископаемых, например марганца.

На этом же этапе должна быть определена зараженность толщ ураном.

Месторождения активных окраин континентов могут быть представлены всеми известными промышленно-генетическими месторождениями (кроме типичных островодужных). Однако наибольший интерес, видимо, и в данной геодинамической обстановке будут представлять протерозойские отложения авлакогенов, вовлеченные при развитии активных окраин кордильерского типа в процессе формирования покровов и шарьяжей. В этом случае эти отложения краевых частей континентов, глубоко залегающие под осадочными призмами пассивных окраин континентов, могут быть выведены на дневную поверхность и входить в состав антиформных и синформных структур, переслаиваясь с покровами пород палеозойского возраста. В зонах покровно-шарьяжного строения областей активных окраин континентов (в поднадвиговых зонах) могут встречаться стратиформные месторождения тонкодисперсного золота (типа месторождений Карлин). Ближе к океану могут быть обнаружены как гипотермальные и мезотермальные жильные золоторудные месторождения в ассоциации с медью и полиметаллами, так и гидротермально-вулканогенные золоторудные и золото-серебряные с теллуридами в андезитовых и базальтовых вулканитах. Локальные магматические и структурные поисковые критерии для таких месторождений достаточно хорошо разработаны.

Месторождения в островодужных геологических формациях представлены преимущественно мезотермальными кварцевожильными месторождениями, ассоциирующими с малыми интрузиями кварцево-диоритового состава, а также гидротермально-вулканогенными золото-серебряными с теллуридами, залегающими в вулканитах. При оценке перспектив месторождений данного типа следует иметь в виду, что в процессе тектонического становления пород островодужных формаций залегающие в них месторождения могут подвергаться тектоническим деформациям, в результате которых в некоторых областях часть месторождений по трансформным разломам или сопряженным с ними структурам может быть перемещена на расстояние в километры и даже первые десятки километров.

Островодужные медно-порфировые месторождения, медно-порфировые месторождения активных окраин континентов, а также медно-полиметаллические месторождения типа Куроко необходимо тщательно исследовать на золото. Должна также учитываться пространственная связь медно-полиметаллических месторождений типа Куроко с более молодыми по возрасту гидротермально-вулканогенными золото-серебряными и золото-теллуридовыми месторождениями.

В вулканогенно-осадочных (аллювиальных) островодужных отложениях следует ожидать золотоносные россыпи, образовавшиеся при размыве зон цементации медно-порфировых месторождений.

Месторождения в зонах столкновения островных дуг с континентами и континентов с континентами представлены месторождениями, образованными в периоды развития островных дуг и активных окраин. При формировании орогенов столкновения они подвергаются деформациям и окончательное тектоническое становление испытывают в структурах континентальной земной коры. В орогенах гималайского типа столкновения деформациям может подвергаться и автохтон пассивной окраины, который в областях столкновения выступов будет испытывать подъем.

Наконец, гидротермальные месторождения золота, связанные как с вулканогенными, так и гидротермально магматическими процессами, могут образовываться в шовных зонах, а также в краевых частях сталкивающихся окраин. В этом случае они ассоциируют с породами офиолитового комплекса и накладываются на них.

Уран. Урановые месторождения представлены следующими промышленно-генетическими типами: 1) пластовые стратиформ-ные в протерозойских конгломератах и песчаниках (типа Блайнд-Ривер, Витватерсранд), 2) жильные и жиллообразные гидротермальные в протерозойских кристаллических породах (типа месторождений Медвежьего озера, Шинколобве и др.), 3) стратиформ-ные и ролловой формы в проницаемых песчаниках активных окраин континентов, особенно в стабильных тектонических блоках, связанные с фронтами и зонами пластового окисления, 4) гидротермальные урановые, урановые с кобальтом, никелем и серебром, собственно урановые и урано-молибденовые в экзоконтактах и эндоконтактах гранитоидных массивов, в кислых вулканитах, а также в других породах, прорываемых кислыми интрузиями.

Месторождения в протерозойских образованиях. Предлагаемые критерии для золота в равной мере могут использоваться и при поисках урановых месторождений, хотя источником урана являлись кислые гранитоидные и метаморфические породы архея и протерозоя. Уран, как и золото, мог накапливаться в виде стратиформных залежей механическим путем, как россыпная компонента в виде уранинита, а также хемогенным в обогащенных органическим веществом продуктивных толщах и горизонтах (например Витватерсранд и Блайнд-Ривер). Однако он более подвижен по сравнению с золотом и может подвергнуться переконцентрации. Конгломератовые и песчаные толщи протерозоя, по-видимому, нередко являлись аренами мощного перераспределения урана палеогрунтовыми водами и гидротермальными растворами, которые разгружались вдоль зон разломов, вновь отдавали уран с образованием жиллообразных гидротермальных и гидротермально-вадозных месторождений. Следовательно, другим важным тектоническим критерием для поиска богатых урановых месторождений в протерозойских авлакогенах является приуроченность оруденения к крутопадающим сравнительно редким, но значительным по протяженности зонам разломов. Сложнее поиски в краевых

зонах авлакогенов, которые при процессах столкновения с островными дугами или окраинами континентов подвергались сложным деформациям.

Месторождения в песчаниках. Главным фактором концентрации урана в толщах песчаников является выпадение его из кислородных вод на восстановительном барьере. Выпадение происходит как в красноцветных, так и сероцветных толщах. Серо-цветные толщи, угленосные отложения, а также нефтегазоносные структуры выступают в роли мощных геохимических барьеров. Источниками урана являются туфогенный материал, гранитоиды или ураноносные черные углеродистые сланцы, залегающие гипсометрически выше толщ, а также прилегающие гранитоидные массивы. Аридный климат способствует формированию и сохранению рудных залежей.

Для урановых месторождений в песчаниках разработаны следующие региональные поисковые геологические критерии: 1) приуроченность месторождений к активным окраинам континентов или микроконтинентов, к стабильным блокам на этих окраинах, характеризующимся длительным накоплением сравнительно маломощных терригенных и угленосных толщ, наличие крупных моноклиналильных структур, 2) наличие пород-источников урана, поставлявших металл к геохимическому барьеру (туфогенный материал самих вмещающих толщ, черные сланцы, гранитоиды и др.).

Гидротермальные месторождения. Для этой большой группы урановых месторождений достаточно хорошо разработаны локальные поисковые критерии: приуроченность месторождений к эндоконтактам и экзоконтактам гранитоидных массивов, к вулканическим жерлам и крупным разломам в вулканогенных толщах.

Пока нельзя сказать ничего определенного о региональных геодинамических обстановках, в которых формируются эти месторождения. Вполне возможно, что это происходит на активных окраинах континентов. Например, урано-молибденовое месторождение Мерисвейл в кислых вулканитах расположено на активной окраине кордильерского типа. Можно, видимо, ориентироваться на пространственную связь урано-молибденовых месторождений с черными углеродистыми сланцами, содержащими уран, молибден и рений, на тесную пространственную связь собственно урановых месторождений с массивами гранитов.

Медь. Меднорудные месторождения представлены следующими промышленно-генетическими типами: 1) медно-порфировые с молибденом и золотом, 2) стратиформные медистые сланцы с кобальтом, 3) медистые песчаники с свинцом, цинком, серебром, рением и другими металлами, 4) медноколчеданные в толщах базальтоидов (кипрского и уральского типа), 5) медно-полиметаллические в контрастных вулканических толщах микроконтинентов' (тип Куроко), 6) эпигенетические тела массивных халькопиритовых руд и ассоциирующие с ними стратиформные залежи свинцово-цинковых руд в проницаемых толщах авлакогенов. Меньшее промышленное

значение имеют месторождения типа манто в вулканогенных толщах, медные жильные месторождения и некоторые другие.

Анализ размещения медно-порфировых месторождений показал, что можно выделить по крайней мере четыре региональных геодинамических обстановки, в которых они встречаются: 1) островные дуги (типа Пангуна с повышенными концентрациями золота), 2) активные окраины континентов (медный пояс Чили, месторождения Казахстана, Средней Азии, Южной Аризоны); при этом они могут залегать как среди комагматичных вулканитов, так и среди более древних пород, 3) зоны столкновения островных дуг с пассивными окраинами континентов, в ассоциации с медно-магнетитовыми месторождениями (Маунт-Фьюбилайн, Новая Гвинея) и 4) зоны столкновения континентов кавказского типа (месторождения Мисхано-Зангезурской металлогенической зоны в стадию столкновения на активной окраине континента). При прогнозе и на первых стадиях перспективной оценки месторождений указанные критерии могут быть использованы для оценки сопутствующих элементов золота, например молибдена, концентрации которого выше на активных окраинах континентов.

Анализ тектонических обстановок с позиций теории тектоники плит позволил прийти к выводу, что месторождения медистых сланцев и медистых песчаников представляют собой два принципиально различных промышленно-генетических типа-, сформированных на активных окраинах континентов.

Медноколчеданные месторождения кипрского типа до сих пор во многих случаях прогнозировались и оценивались как образования ранних стадий развития геосинклинальных трогов, или как наложенные поздними процессами. Установлено, что это образования океанической коры, сформировавшиеся в срединноокеанических хребтах и в окраинных морях и испытавшие обдукцию при тектоническом включении их в состав континентальной коры. Поэтому при прогнозировании и оценке месторождений данного типа необходимо подходить с позиций их сингенетичности вмещающим толщам, а не наложенного постмагматического оруденения, с учетом аллохтонного и деформированного состояния этих толщ. Это кардинально меняет направление прогноза, поисков и оценки медноколчеданных месторождений. Такой же подход к прогнозу должен быть к медно-полиметаллическим колчеданным острово-дужным месторождениям типа Кууроко. Месторождения данного типа сингенетичны вулканогенным толщам и почти согласны их наслоению; на континентах они находятся всегда в аллохтонном и в той или иной степени деформированном залегании. Если рудовмещающие вулканогенные толщи расслоены, то нередко можно видеть интенсивные пликативные деформации руд месторождений данного типа.

По мнению А. Н. Кена (1969 г.), следует учитывать приуроченность рудных залежей к определенным рудоносным поверхностям. Детальные палеорекострукции рудных полей месторождений данного типа являются

ключом к обнаружению новых глу-бокозалегающих залежей во многих известных горнорудных районах.

Свинец и цинк. К числу свинцово-цинковых месторождений относятся крупнейшие стратиформные и штокверковые месторождения в терригенно-карбонатных толщах пассивных окраин континентов типа месторождений долины Миссисипи, которые могли быть сформированы как в стадию межматерикового рифта и пассивной окраины континента, так и при последующих деформациях осадочных терригенно-карбонатных толщ при столкновениях пассивной окраины с островной дугой. Для установления более четких геотектонических критериев этой рудной формации необходимо детально изучать геодинамические обстановки.

Важным промышленно-генетическим типом свинцово-цинковых месторождений являются жильные и иногда контактово-мета-соматические месторождения со значительным количеством серебра, развитые на активных окраинах континентов в связи с молодой субвулканической деятельностью (Сьерра-де-Паско в Перу, пояс жильных и контактово-метасоматических месторождений Чили и Аргентины районы Кер д'Алена, Тинтика и Бин-гема в США).

Молибден. Кроме значительных количеств молибдена в медно-порфировых месторождениях, концентрация молибдена известна в собственно молибденово-кварцево-молибденовых (вместе с вольфрамом) штокверковых месторождениях, приуроченных к молодым интрузивным штокам риолитовых порфиров (Кляймакс) на активных окраинах континентов кордильерского типа.

Олово. С позиций теории тектоники плит выделяется три главных промышленно-генетических типа оловорудных месторождений: 1) грейзеновые и кварцево-жильные с касситеритом (и вольфрамитом) в экзо- и эндоконтактных зонах палингенных оловоносных гранитов, формирование которых предположительно происходило при закрытии окраинных морей, под аллохтонами микроконтинентов, надвигавшихся на пассивные окраины континентов; 2) оловянно-серебряные и собственно оловянные месторождения, приуроченные к молодым интрузиям кварцевых порфиров, в тыльных надвиговых поясах, на активных окраинах континентов андийского типа; 3) оловоносные граниты, связанные с внутриплитной активизацией на древних платформах (плато Джое в Нигерии, Рондония в Бразилии).

Ртуть. Намечаются три главных геотектонических обстановки, в которых формируются ртутные месторождения: 1) пояса по-кровно-шарьяжного строения образовавшиеся в результате закрытия спрединговых и останцовых окраинных морей при столкновении микроконтинента с континентом (Средняя Азия, Корякское нагорье — СНГ и, по-видимому, Альмаден — Испания); 2) офиолиты и наложенные на них и на другие породы молодые эффузивы в краевых частях активных окраин континентов (Калифорния; Хуановелика — Чили; Монте-Амиата — Италия), 3)

терригенные толщи авлакогенов над скученной океанической корой (Никитов-ское месторождение).

Бокситы. Высококачественные бокситы (геосинклинальные) являются специфическими и очень характерными накоплениями больших масс окиси глинозема на островных дугах. Поэтому в континентальной коре их следует искать в аллохтонных остро-водужных геологических формациях со следами интенсивного латеритного выветривания, т. е. в орогенах столкновения островных дуг с пассивными окраинами континентов (Северо-Уральский бокситоносный бассейн). Для научного обоснования поисков аналогов месторождений островов Реннелл, Ямайки и Северо-Ураль-ского бокситоносного района в палеозойских породах Урала, Салаира, Саяна, Центрального Казахстана и других областей палеозойской складчатости потребуется создать мобилистские палеотек-тонические реконструкции необходимой детальности, рассмотреть палеопозицию в тропическом поясе не только Сибирской и Казахстанской мегаплит, но и более мелких мезоплит, причленившихся к ним в разные периоды раннепалеозойского орогенеза.

Калийные соли. Полученные в течение последних 25-30 лет новые геологические и геофизические данные по калиеносным бассейнам мира в значительной степени противоречат традиционным представлениям о тектонических типах эвапоритовых бассейнов и не находят удовлетворительного объяснения с позиций фиксизма. Концепция тектоники плит и разработанные на ее основе геодинамические модели позволяют объяснить возникновение и развитие древних бассейнов калиенакопления и наметить пути решения ряда дискуссионных проблем галогенеза.

В фанерозойской истории Земли условия, благоприятные для формирования залежей калийных солей в эвапоритовых бассейнах, возникали многократно. Выявлено 15 этапов калиенакопления: раннекембрийский, позднесилурийский, среднедевонский, позднедевонский, раннекаменноугольный, среднекаменноугольный, раннепермский, позднепермский, позднетриасовый, позднелурский, раннемеловой, позднемеловой, эоцен-олигоцен-вый, миоценовый и плиоцен-четвертичный. Зарождение преобладающе-ю большинства бассейнов калиенакопления по времени тесно связано с эпохами активного развития Земли, а пространственно - с мобильными зонами и поясами (пояса растяжения - пассивные окраины континентов, внутриконтинентальные и межконтинентальные рифтовые зоны; пояса сжатия -краевые, межгорные впадины и прогибы), реже - с консолидированными, гетерогенными и разновозрастными участками земной коры.

С позиций мобилизма выделяется пять наиболее характерных тектонических типов (природных моделей) древних бассейнов калиенакопления: 1) бассейны авлакогенов или внутриматериковых рифтовых зон, зарождавшиеся в условиях растяжения земной коры, не приведшего к перемещению литосферных плит на значительные расстояния; 2) бассейны, возникавшие при расколе мегаплит с континентальной корой,

раздвижении и дрейфе их частей и раскрытии нового океана; 3) бассейны, располагавшиеся в пределах поясов и зон поддвигания и столкновения литосферных плит на заключительных стадиях закрытия океанов; 4) бассейны так называемых "карбонатных платформ", формировавшиеся в гигантских депрессиях земной коры, которые образовались в результате коллизии (фронтальной либо тангенциальной) двух или более континентальных макро- или мезоплит; 5) бассейны синеклиз и впадин в пределах стабильных частей мегаплит, формировавшиеся во время спокойного их перемещения.

В фанерозойской истории Земли весьма широко были распространены калиеродные бассейны первого типа, возникавшие в авлакогенах и внутриконтинентальных рифтовых зонах. В них создавались благоприятные условия для соленакопления, что было подмечено рядом исследователей. Типичными примерами накопления калийных солей в подобных тектонических условиях являются позднедевонские эвапоритовые бассейны Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена. С внутриматериковыми рифтовыми зонами связаны также залежи калийных солей во впадине Афар (Эфиопия), Верхнерейнском грабене (Франция, ФРГ), в рифтовых зонах приморских провинций Канады, в бассейне Парадокс (США) и т.д.

Бассейны второго типа возникали при расколе мегаплит с континентальной корой и дрейфе их частей, т. е. на начальном этапе раскрытия нового океана. В этих условиях формировались эвапоритовые серии, которые трансгрессивно залегают на континентальных осадочных или вулканогенных образованиях и перекрыты морскими карбонатными или карбонатно-глинистыми отложениями. Таких бассейнов в геологической истории развития Земли было немного. Классическим примером является эвапоритовый бассейн, возникший в раннемеловую эпоху (апт) в пределах Южно-Атлантической впадины, представлявший собой узкий, вытянутый в субмеридиональном направлении залив, разделенный сравнительно мелководной перемычкой вулканических сооружений на две котловины - северную и южную. Калийные и магниевые соли накапливались в северной его части, наиболее удаленной от открытого моря. В связи с дрейфом фрагментов Гондваны и раскрытием Атлантического океана в позднем мезозое рассматриваемые эвапоритовые отложения ныне залегают в переходных зонах атлантического побережья Африки (Габон, Конго) и Южной Америки (бассейн Сержипи-Алагоас в Бразилии), которые удалены друг от друга на многие сотни километров.

Калиеродные бассейны третьего типа зарождались в пределах поясов и зон поддвигания и столкновения литосферных плит в завершающие стадии закрытия океанов. Они чаще всего возникали в пределах окраинных, сильно изолированных частях морей и представляли собой узкие, но нередко достаточно протяженные заливы, ограниченные со стороны форланда пологой равниной, а с противоположной - воздымавшимися орогенными сооружениями, иногда располагались в межгорных впадинах. Здесь прояв-

лялись самые разнообразные геодинамические обстановки: столкновения, сжатия, поддвигания и надвигания плит. Характерен вулканизм, проявлявшийся, как правило, за пределами солеродных бассейнов, в которые привносился в основном пепловый материал.

В подобных геодинамических условиях в связи с закрытием океана Тетис в кайнозое возник обширный пояс эвапоритовых бассейнов, приуроченный к Альпийско-Гималайской области сжатия литосферы. Глобальные палеогео-динамические реконструкции показали, что, начиная с эоцена, в связи с медленным вращением Африканской плиты относительно Евразийской размеры Западного Тетиса постепенно сокращались, а в олигоцене циркум-тропический морской путь через Тетис был уже закрыт в результате сближения северных и южных континентов, после чего началось их столкновение. В миоцене и плиоцене продолжалось столкновение и сжатие отдельных блоков континентальной литосферы, а площадь, занятая океанической плитой, постепенно сокращалась. Возникли благоприятные условия для кристаллизации калийных солей. Эвапоритовый пояс, состоящий из обособленных бассейнов, простирался от Испании на западе до Пакистана на востоке. В его состав входил ряд калиеродных бассейнов: Наваррский, Каталонский, Сицилийский, Предкарпатский, Приереванский, Кум, а также бассейны в иранском Азербайджане и, по-видимому, бассейн Соляной кряж в Пакистане. В пределах этого пояса раньше всего калиенакопление началось в пределах Западного Тетиса (Наваррский и Каталонский бассейны) и наибольшей интенсивности достигло в миоцене.

Бассейны четвертого типа возникали в пределах гигантских по площади депрессий земной коры. Накоплению соленосных отложений предшествовало образование на обширных пространствах карбонатных отложений. К этому типу могут быть отнесены раннекембрийский Восточно-Сибирский и цехштейновый Среднеевропейский бассейны. Эвапоритовые отложения в каждом из них распространены на площади около 1 млн км². Так, Среднеевропейский эвапоритовый бассейн простирался от Калининградской области России на востоке до Великобритании на западе. Ложе его представлено разновозрастными геотектоническими элементами, крупнейшими из которых являются Восточно-Европейская (докембрийская) и Западно-Европейская (палеозойская) платформы, сопрягающиеся по линии Тейсера-Торнквиста. Формирование соленосных отложений было связано с трансгрессией моря и накоплением сначала терригенных, а затем карбонатно-сульфатных отложений. Условия для образования калийных солей возникали неоднократно. Накопление их осуществлялось на обширных пространствах и в больших масштабах.

Бассейны пятого типа располагались в пределах относительно стабильных структурных элементов земной коры (впадины, синеклизы). Во время перемещения литосферных плит они не подвергались существенным тектоническим перестройкам. В таких бассейнах накапливались эвапоритовые отложения относительно небольшой мощности. Характерно отсутствие про-

явлений вулканизма накануне и во время соленакопления. Типичным примером подобного типа является Морсовский бассейн (средний девон).

Таким образом, в фанерозое накопление калийных солей происходило в разнообразных геодинамических обстановках, возникавших при растяжении и раздвижении литосферы, сжатии и столкновении литосферных плит на завершающих стадиях закрытия океанов, а также в пределах относительно стабильных элементов литосферных плит, характеризовавшихся относительно спокойным проявлением геодинамических процессов. Каждый из отмеченных тектонических типов бассейнов выделялся своеобразием протекавших геодинамических процессов и с этих позиций их следует рассматривать как природные геотектонические модели калиеносных территорий.

Преобладающее большинство древних бассейнов калиенакопления относится к первому-третьему типам. Именно в этих случаях наиболее часто и полно реализовывались условия (например, высокая степень изолированности бассейнов, активный тектонический режим, повышенный тепловой поток), обеспечивавшие осаждение из морских вод и их дериватов хлоридных и сульфатных калийных и калийно-магниевых солей. Бассейны меж- и внутриконтинентальных рифтовых зон представляли собой, как правило, узкие и весьма протяженные морские заливы со сложной топографией рельефа дна и развитием поперечных порогов (барьеров).

ПОИСКОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ**ПРЯМЫЕ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ**

Под поисковыми признаками понимаются определенные факты или явления, указывающие на наличие или возможность выявления месторождений полезных ископаемых в определенном месте. К поисковым признакам относятся следы процессов образования, изменения и разрушения месторождений; физические, химические, минералогические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород, по которым можно обнаружить месторождение в толще земной коры; сведения о деятельности человека, имеющие отношение к полезному ископаемому.

Поисковые признаки разделяются на прямые и косвенные. Первые из них непосредственно указывают на наличие месторождения, а вторые косвенно свидетельствуют о возможности обнаружения оруденения. К прямым поисковым признакам относятся: 1) выходы полезного ископаемого; 2) ореолы и потоки рассеяния вещества полезного ископаемого; 3) особые физические свойства полезного ископаемого; 4) следы старых горных работ или переработки полезного ископаемого и исторические данные о горном промысле.

К косвенным поисковым признакам относятся: 1) изменения околорудных пород; 2) наличие во вмещающих породах жильных минералов, сопровождающих оруденение; 3) различие физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород; 4) характерные особенности рельефа; 5) гидрогеологические; 6) ботанические.

Прямые поисковые признаки

Выходы полезного ископаемого. Наличие полезного ископаемого или рудных минералов в коренных обнажениях является наиболее достоверным поисковым признаком, свидетельствующим о наличии в тех или иных количествах рудного вещества. Поэтому выявление такого обнажения (естественного или искусственного) является одной из задач поисковика. Как правило, вещественный состав, мощность и строение залежи на выходах в зоне выветривания существенно изменены. Поисковое значение выходов полезного ископаемого подробно рассматривается в разделе «Поисково-оценочные работы».

Ореолы и потоки рассеяния. Этот поисковый признак характеризуется повышенным содержанием полезного ископаемого, рудных минералов или элементов в рудных полях и вокруг рудных тел. Так как ореолы рассеяния всегда распространены на значительно больших площадях по сравнению с рудными телами, то обнаружить их при поисках значительно легче, чем сами рудные тела. Поэтому ореолы и потоки рассеяния имеют исключительно важное поисковое значение; на их исследовании основаны главные методы поисков: визуальные, шлиховой, геохимические.

По происхождению ореолы и потоки рассеяния разделяются на первичные и вторичные. Первые ореолы образуются в процессе формирования месторождения и, вероятно, при их метаморфизме, вторые — при разрушении месторождений и их первичных ореолов рассеяния. Первичные ореолы и потоки рассеяния имеют особенно большое значение при поисках месторождений, не выходящих на эрозионный срез вмещающих их пород («слепые» месторождения), а вторичные — при поисках вскрытых эрозией месторождений.

Однако следует знать, что ореолы и потоки рассеяния не всегда свидетельствуют о наличии месторождения. Первичные повышенные концентрации полезных компонентов не всегда связаны с месторождением. Вторичные ореолы и потоки рассеяния могут образовываться за счет полного разрушения коренного месторождения, вследствие чего ореолы или потоки рассеяния могут быть, а месторождения могут отсутствовать. Выделяют открытые ореолы рассеяния — выходящие на дневную поверхность, и скрытые — не выходящие. Последние разделяются на «слепые» и погребенные. Слепые ореолы рассеяния вследствие недостаточного эрозионного среза вмещающих пород никогда не достигали поверхности земли, а погребенные в процессе образования или позднее были перекрыты более молодыми отложениями.

Первичные ореолы рассеяния. Ореолы первичного рассеяния рудного вещества представляют собой более или менее изо-метричные участки рудовмещающих пород, окружающие месторождение и обогащенные в процессе рудообразования рядом химических элементов. Нередко их положение в пространстве контролируется характером рудоконтролирующих структур, особенностями залегания благоприятных вмещающих оруденение пород и т. п., поэтому они могут быть вытянуты вдоль рудоконтролирующих элементов. По отношению к вмещающим породам ореолы первичного рассеяния могут быть син- или эпигенетическими. Первые характерны для магматических и осадочных, а вторые — для пегматитовых и постмагматических — пневматолитовых, гидротермальных месторождений. В сингенетических ореолах распределение химических элементов характеризуется плавным повышением концентраций рудообразующих компонентов по мере приближения к рудным телам (малой контрастностью). В эпигенетических ореолах распределение элементов более сложно и характеризуется значительной контрастностью: в распределении элементов рассеяния отмечается определенная геохимическая зональность. Образование таких ореолов и потоков происходит в результате диффузионного, инфильтрационного или диффузионно-инфильтрационного процессов. Диффузионные ореолы возникают при диффузии элементов из рудных тел и рудообразующих растворов во вмещающие породы. Такие ореолы обычно характерны для отдельных рудных тел. Инфильтрационные ореолы образуются за счет рудообразующих растворов, перемещающихся по зонам повышенной проницаемости — дробления,

повышенной трещиноватости и т. п. Они характерны для месторождений и рудных полей. Диффузионно-инфильтрационные ореолы сочетают особенности диффузионных и инфильтрационных.

Важно отметить различие ореолов рассеяния рудных тел и ореолов рассеяния рудных полей. Первые характеризуются сравнительно небольшими размерами и высокой (особенно для эпигенетических месторождений) контрастностью, наличием в составе ореолов только тех элементов, которые свойственны данному рудному телу, и концентрацией элементов, которая может превышать фоновые на два-три порядка.

Первичные ореолы рассеяния рудных полей имеют значительно большие размеры, более сложный элементарный состав, а концентрация ореольных элементов превышает фоновые на порядок и редко больше. При этом в число ореольных элементов могут входить не только элементы, характерные для данной рудной ассоциации, но и элементы других рудных ассоциаций. В качестве примера таких ореолов рассеяния рудных полей и рудных тел приведем краткие сведения об одном золоторудном месторождении.

Ореолы рассеяния рудных тел расположены непосредственно у рудных тел. Они маломощны (единицы метров), очень высоко контрастны и представлены золотом, мышьяком, ртутью и серебром. При этом высоко контрастные ореолы некоторых перечисленных элементов образуют узкие полосы на продолжении слепых рудных тел.

Второй тип первичных ореолов представляет собой ореол рассеяния рудного поля. Он характеризуется большими размерами и выполняет промежуточные пространства между ореолами рассеяния рудных тел. Элементарный состав его одинаковый с первичными ореолами рудных тел, но уровень контрастности ореольных элементов примерно на порядок ниже.

Степень и характер рассеяния, а следовательно, состав, форма и размеры ореолов рассеяния, зависят от очень многих причин. Главнейшими из них являются:

- 1) геохимические особенности химических элементов, входящих в состав ореолов;
- 2) состав, строение, морфология, условия залегания и генетические особенности рудных тел;
- 3) физико-химические особенности и условия залегания вмещающих пород.

Геохимические особенности элементов, определяющие их миграционную способность, изучены еще недостаточно. Миграционная способность их зависит от следующих основных свойств: способности элементов образовывать ионы различной валентности; основных и кислотных свойств элементов, которые определяются отношением радиусов и валентности ионов; строения природных химических соединений элементов, определяющих их проницаемость; энергии кристаллических решеток природных соединений, от которых зависит их растворимость.

Установлено, например, что с увеличением валентности миграционная способность серы, меди, мышьяка, урана, ванадия, хрома и некоторых других элементов при прочих равных условиях возрастает, тогда как с повышением валентности железа, марганца, кобальта миграционная способность этих элементов уменьшается. Известно, что наиболее широкие ореолы вокруг рудных тел образуют элементы, обладающие повышенной миграционной способностью, такие, как ртуть, сурьма, мышьяк, цинк, молибден и др.

Первичные ореолы рассеяния по существу являются естественным продолжением рудных тел, и поэтому их состав в общем определяется минеральным и химическим составом полезного ископаемого. Однако в зависимости от миграционной способности элементов по мере удаления от рудных тел состав ореолов может существенно изменяться и не отражать состав руд. Так, по данным К. М. Муканова, в первичных ореолах рассеяния полиметаллического месторождения Алайгыр установлено наличие свинца, цинка, серебра, меди, мышьяка, сурьмы, бария и стронция. Причем последний дает более протяженные ореолы рассеяния, чем другие перечисленные элементы.

Г. И. Гроссман установил, что на полиметаллических месторождениях Алтая медь, свинец и барий образуют узкие первичные ореолы рассеяния, а серебро, цинк, мышьяк, молибден — наиболее широкие. Нередко на наличие глубокозалегающих рудных тел могут указывать не только главные элементы рудных тел, но и элементы-спутники. Например, на свинцово-цинковом месторождении Тинтик (США) такими индикаторами кроме свинца и цинка являются марганец и барий. М. З. Кантором сделан вывод о пропорциональной зависимости между масштабом месторождений (свинца, цинка, олова, вольфрама и других металлов) и содержанием марганца в усредненных пробах руд и жильных минералах. Указанный автор рекомендует при поисках месторождений отдавать предпочтение тем участкам рудных районов, где содержание марганца в жильных минералах, дайках, небольших штоках горных пород значительно повышено. На серебряно-свинцовом месторождении Сьерра-Мояда (Чили) элементами-спутниками являются мышьяк и цинк, в первичных ореолах рассеяния золоторудного месторождения Гольдфильдс (Гана) установлено повышенное содержание кобальта, висмута, серебра и олова.

Протяженность ореолов рассеяния в значительной степени зависит от того, какими рудами представлено рудное тело: при сплошном оруденении такие элементы, как свинец, медь, баоий, образуют весьма узкие ореолы рассеяния, измеряемые единицами метров. Наоборот, при вкрапленном оруденении ореолы рассеяния указанных элементов достигают многих десятков и даже сотен метров.

Размеры и строение первичных ореолов рассеяния наряду с прочими факторами во многом зависят от формы и строения рудных тел: вокруг одиночных простых жильных тел ореолы рассеяния образуют оторочки, продолжающиеся по простираанию и восстанию за пределы таких

тел (рис. 1); вокруг сближенных рудных тел, а также тел, характеризующихся сложной морфологией, первичные ореолы рассеяния имеют обычно сложные очертания (рис. 2).

Особенности первичных ореолов рассеяния во многом определяются условиями образования месторождений. Первичные ореолы рассеяния гравитационно-сегрегационных и ликвационных магматических месторождений образуются в висячих боках залежей в соответствии с условиями их образования.

Постмагматические месторождения — пегматитовые, пневматолитовые, гидротермальные — всегда являются эпигенетическими, т. е. более поздними образованиями по сравнению с вмещающими их породами. Следовательно, и первичные ореолы рассеяния полезных ископаемых перечисленного генезиса также являются эпигенетическими по отношению к вмещающим породам.

Первичные ореолы рассеяния образуются в постмагматических месторождениях любых полезных ископаемых пегматитового, пневматолитового и гидротермального генезиса. Возникновение ореолов обусловлено главным образом физико-механическим состоянием пород в момент рудоотложения и в меньшей мере составом пород. Главную роль при формировании инфильтрационных ореолов играют система дорудной трещиноватости и начальная пористость; диффузионные процессы, как отмечено выше, приводят к образованию значительно более узких (в десятки раз) ореолов, чем при инфильтрации.

Простая зависимость между масштабами месторождений и размерами ореолов первичного рассеяния устанавливается не всегда. Нередко непромышленные месторождения сопровождаются ореолами, интенсивность которых такая же, как и в промышленных месторождениях. Морфология и строение первичных ореолов рассеяния определяется как трещиноватостью, пористостью пород, так и формой рудных тел. Линейно-вытянутые ореолы присущи пластообразным и жильным телам; линзовидные характерны для линз; сложные ореолы образуются вокруг сближенных рудных тел.

Морфология ореолов отдельных элементов определяется, кроме того, инфильтрационной или диффузионной подвижностью этих элементов. Особенно больших размеров (сотни метров) достигают инфильтрационные ореолы рассеяния, развивающиеся вдоль зон трещиноватости. Диффузионные ореолы характеризуются значительно меньшими размерами, особенно в плотных вмещающих породах. Химический состав первичных ореолов месторождений рассматриваемого генезиса всегда многокомпонентный. Установлены повышенные содержания в ореолах вокруг пегматитов (редкометалльных, слюдяных, керамических) редких и щелочных металлов (лития, рубидия, цезия): для золоторудных тел характерно наличие в ореолах золота, серебра, мышьяка, сурьмы, свинца, меди, ртути; в ореолах урановых месторождений всегда присутствуют уран, молибден, свинец. В верхних зонах ореолов рассеяния элементов в любых пневматолитовых и

гидротермальных месторождениях наблюдается широкое развитие ореолов ртути, иода и брома, достигающее сотен метров.

Повсеместно устанавливается зональность в распределении элементов в ореолах постмагматических месторождений. Это объясняется физико-химическими условиями образования месторождений, но главным образом различными скоростями перемещения (подвижностью) ионов в растворах. Независимо от способа (инфильтрационный или диффузионный) проникновения ореолообразующих элементов во вмещающие рудное тело породы скорости перемещения элементов различны и определяются их ионным потенциалом. По этим причинам в процессе образования ореола элементы проходят разные расстояния и располагаются вокруг рудных тел зонально.

В табл. 1 в зависимости от значений ионных потенциалов приведено распределение главнейших рудообразующих элементов в первичном ореоле рассеяния постмагматического месторождения по зонам относительно рудного тела.

Показанное в табл. 1 распределение элементов справедливо для простейшего ореола, образовавшегося инфильтрационным или диффузионным путем вокруг одиночного тела при одноактном рудоотложении.

Строение такого простейшего первичного ореола рассеяния показано на рис. 3.

Расположение элементов в ореолах рассеяния может быть очень сильно осложнено многостадийностью в отложении вещества рудных тел и ореолов рассеяния, одновременным воздействием инфильтрации и диффузии и другими особенностями условий образования.

Для иллюстрации изложенного приведем некоторые примеры, характеризующие важнейшие особенности первичных ореолов рассеяния. По данным Т. И. Ньюппенена, первичные ореолы рассеяния медно-никелевых месторождений характеризуются комплексным составом: Си, Ni, Со, Zn, Pb, Bi, Se, Fe и др.; повышенное содержание этих элементов по простиранию рудных тел отмечается на большом расстоянии (до сотен метров), тогда как вкрест простирания рудных тел оно прослеживается на расстоянии до 15 м; вблизи рудных тел содержится Со, далее Ni и еще дальше Си. Первичные ореолы рассеяния Садонских полиметаллических месторождений, по материалам Н. И. Куйкина, имеют многокомпонентный состав (снизу вверх: Ni, Со, Ga, Ge, As, Си, Мп, Sn, Мо, Zn, Pb, Bi, Ag, Sb, TI, Hg. Протяженность ореолов превышает 100 м.

Н. И. Сафронов для оловорудных жил Северо-Востока СНГ установил комплексный состав и определенную зональность их первичных ореолов рассеяния. При этом особенно важно, что в кварце, арсенопирите и турмалине, расположенных в 150—200 м по восстанию от слепого касситеритового оруденения, установлено высокое содержание (до 0,5%) сурьмы при низком содержании (до 0,1%) олова, тогда как в руде сурьма практически отсутствует. Первичные ореолы рассеяния гидротермальных

месторождений, по данным А. Д. Каблукова, Н. Н. Со-чеванова и др., имеют следующие особенности: они образуются по ослабленным зонам, вблизи трещин путем инфильтрации развиваются диффузионные ореолы. Протяженность ореолов достигает 270 м, ширина их в 10—20 раз превышает мощность рудного тела и достигает многих десятков метров.

Химический состав ореолов соответствует элементарному составу рудных тел. Главными ореолообразующими элементами являются U, Mo и Pb; несколько меньшим распространением пользуются Si, As; кроме этого отмечаются Zn, Ag, Tl, Ba, Sb, реже Zr, P, Th, V, Mn, B, Hg. Установлено, что выше всех из перечисленных элементов над рудным телом располагается свинец, ниже идут молибден и уран. Наоборот, в подрудные толщи свинец не опускается совсем, а молибден и уран ниже рудного тела прослеживаются на десятки метров. Эта закономерность была использована для определения высоты эрозионного среза и глубины залегания слепых рудных тел. Для этой цели используются свинцово-урановое и молибден-урановое отношения продуктивности ореолов. Эти отношения колеблются соответственно от 4,1 и 4,5 для надрудных толщ, до 0,06 и 1,0 ниже рудных тел.

Для ореолов рассеяния некоторых гидротермальных месторождений урана, преимущественно в верхних частях рудных тел и выше их, установлено также высокое содержание свинца, цинка, серебра, мышьяка, таллия и ртути. Ниже рудных тел в подстилающих породах ореолы перечисленных элементов отсутствуют.

Важные сведения по первичным ореолам рассеяния ртути над различными по происхождению и минеральному составу месторождениями Казахстана приводятся В. З. Фурсовым. Ореолы ртути установлены над полиметаллическими, медноколчеданными и золоторудными месторождениями. По мере удаления от рудных тел вверх площади ореолов рассеяния увеличиваются, а протяженность их в этом направлении иногда достигает 400 м. Представляют интерес обобщенные данные по геохимической зональности рудных тел и первичных ореолов рассеяния оловянных месторождений.

Особый интерес для поисков слепых рудных тел представляют первичные ореолы рассеяния иода. М. А. Лапп, Е. С. Матюшина изучали ореолы рассеяния этого и других элементов над рудными телами полиметаллических, медноколчеданных, медно-молибденовых, медно-никелевых, оловорудных, золоторудных, ртутных, сурьмяно-мышьяковых месторождений Закавказья (Армения), других районов Кавказа, Украинского кристаллического щита и Западного Донбасса. При этом были установлены следующие закономерности. Ореолы иода сопровождают все изученные месторождения. Этот элемент обладает наибольшей проникающей способностью по сравнению с другими ореолообразующими элементами — он проникает через такие породы, которые являются непроницаемыми для других элементов. Ореолы иода распространяются вверх от рудных тел на расстояние до 200 м, тогда как в горизонтальном направлении протяженность

ореолов не превышает 50 м. Установлен следующий ряд зональности в распределении элементов в ореоле рассеяния (вверх от руды): Си, Pb→Zn→Hg→As, Sb→Ge→Tl→I.

Характер и протяженность первичных ореолов рассеяния зависят также от особенностей рудных формаций. Для высокотемпературных рудных формаций (грейзеновая, золото-кварцевая) характерно образование вокруг рудных тел сравнительно узких первичных ореолов рассеяния (от десятков до первых сотен метров); при этом наибольшее развитие имеют ореолы золота, молибдена, мышьяка. Ореолы рассеяния среднетемпературных месторождений характеризуются более значительной протяженностью и представлены преимущественно медью, свинцом и цинком. Вокруг низкотемпературных месторождений образуются *наиболее* протяженные ореолы (до 500 м и более), представленные ртутью, сурьмой, мышьяком, барием и др. (рис. 4). Форма нахождения элементов в ореолах рассеяния весьма различна. Одни из них встречаются в самородном виде, например золото; другие — свинец, цинк, медь, молибден, уран, олово, ртуть и пр.— образуют преимущественно собственные минералы, хотя и встречаются в форме изоморфных примесей в минералах других элементов. Большая часть ореолообразующих элементов находится в форме различных примесей непосредственно во вмещающих породах и особенно в минералах-вкрапленниках, образовавшихся одновременно с оруденением и являющихся эпигенетическими по отношению к вмещающим оруденение породам. Ореолообразующие элементы могут находиться также в пленочных и поровых водах пород, создавать твердые и жидкие растворы и т. д.

Первичные ореолы рассеяния месторождений полезных ископаемых осадочного генезиса характеризуются своими особенностями. По М. Страхову, тела полезных ископаемых всегда окаймляются широкими зонами зачаточного и незавершенного рудообразования, переходящими во вмещающие осадочные породы. Эти зоны являются сингенетическими первичными ореолами рассеяния осадочного месторождения; содержания ореолообразующих элементов в них закономерно уменьшаются от рудного тела к периферии и становятся близкими к кларковым. Для марганцевых месторождений ореольные зоны представлены глинами с редкими марганцевыми конкрециями. В периферических (прибрежных) частях рудного пласта в большом количестве содержатся псиломелан и манганин. В рудных телах, образовавшихся в глубинных частях бассейна, указанные минералы замещаются родохрозитом и манганокальцитом; обычно в таких ореолах присутствуют примеси кобальта и бария.

Промышленные скопления меди в медистых песчаниках представляют собой линзы, окруженные убогой вкрапленностью медных минералов. В ореолах рассеяния кроме меди присутствуют другие многочисленные рудные элементы.

Промышленные залежи фосфоритов обычно окружены зонами, содержащими редкие конкреции фосфоритов, сопровождаемые глауконитом. На восточно-сибирских месторождениях повышенное содержание фосфора за пределами рудных тел прослеживается по простиранию пород на расстоянии до 4 км, а в направлении мощности — до 25 м.

Общими особенностями первичных ореолов рассеяния осадочных месторождений являются: сравнительно простое их строение, форма, приближающаяся к форме рудных тел, большая протяженность в плоскости рудоносного пласта и небольшие размеры в направлении висячего и лежащего боков. По видам и формам нахождения элементов ореолы не отличаются от рудных тел. Они являются минеральными, если руды сложены собственными рудными минералами, или безминеральными, если полезные компоненты в рудных телах находятся в состоянии сорбции.

Ореолы рассеяния месторождений вулканогенно-осадочного происхождения также характеризуются некоторыми особенностями: многокомпонентностью, зависящей в основном от состава вулканогенных гидротермальных растворов, и отсутствием в распределении ореолообразующих элементов зональности. Вблизи рудных тел первичные ореолы представлены преимущественно рудными минералами, а по периферии элементы находятся в пепловом материале в сорбированном состоянии; ореол развивается преимущественно в пределах рудовмещающей породы.

Первичным ореолам рассеяния метаморфизованных, месторождений присущи закономерности, характерные для ореолов рассеяния неметаморфизованных месторождений.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Под вторичными ореолами и потоками рассеяния понимается весь комплекс продуктов, возникающих при процессах разрушения месторождений полезных ископаемых и их первичных ореолов рассеяния. Такие ореолы и потоки образуются в поверхностном рыхлом покрове, почвах, растительности, грунтовых и поверхностных водах, почвенном и приповерхностном воздухе и связаны между собой. Они возникают на месторождениях любого состава и генезиса, подвергающихся эрозии, под действием агентов физического и химического выветривания. В свою очередь скорость, характер и степень разрушения месторождений определяются геотектоническими процессами.

Различают ореолы и потоки вторичного рассеяния вещества. Ореолы вторичного рассеяния представляют собой более или менее изометричные в плане участки вмещающих пород, жидкости или газа окружающих рудное тело (месторождение), в которых устанавливается повышенное содержание ореолообразующих элементов. Потоки рассеяния — это также участки повышенного содержания ореолообразующих элементов, но они имеют обычно вытянутую форму, которая зависит от направления переноса компонентов в твердой, жидкой или газовой фазе из области денудации в область осадконакопления. Минеральный и химический состав вторичных ореолов и потоков рассеяния соответствует составу руд месторождения и его

первичных ореолов рассеяния. Фазовое состояние элементов вторичных ореолов рассеяния определяется состоянием вещества и особенностями физико-химических условий разрушения месторождений и их первичных ореолов рассеяния.

В зависимости от характера процесса разрушения и фазового состояния продуктов разрушения вторичные ореолы и потоки рассеяния разделяются на: 1) механические; 2) солевые; 3) водные (или гидрогеохимические) ; 4) газовые (или атмогеохимические); 5) биогеохимические.

1. Механические ореолы и потоки рассеяния образуются при процессах физического разрушения химически устойчивых полезных ископаемых в приповерхностных частях залежей. По крупности и агрегатному состоянию продуктов разрушения рудных тел механические ореолы и потоки разделяются на крупнообломочные («рудные развалы»), представленные рудными обломками, валунами и галькой размером от нескольких до десятков сантиметров в диаметре; шлиховые (песчано-гравийные), состоящие из частиц от долей миллиметра до нескольких миллиметров в поперечнике (при определенных условиях в них скапливаются тяжелые минералы); тонкодиспергированные геохимические (глинистые), в которых рудное вещество присутствует в виде мельчайших зерен размером в сотые и тысячные доли миллиметров.

Все вышеперечисленные разновидности механических ореолов рассеяния могут находиться в элювиальных, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных, ледниковых и других рыхлых отложениях.

Элювиальные механические преимущественно ореолы рассеяния обычно характеризуются преобладанием крупнообломочного материала, особенно если образуются за счет крепких, устойчивых против химического выветривания руд, залегающих в менее крепких вмещающих породах.

Делювиальные механические ореолы и потоки рассеяния образуются за счет физического выветривания рудных тел и перемещения продуктов разрушения по склону. При этом рудные обломки перемешиваются с безрудными и в той или иной степени измельчаются. В зависимости от крепости руд, а также от крутизны склона соотношение размеров рудных обломков может быть различным. При выветривании крепких руд и перемещении рудных обломков по крутым склонам образуются крупнообломочные ореолы и потоки рассеяния, протягивающиеся по склону иногда на многие сотни метров.

Аллювиальные механические преимущественно потоки рассеяния образуются за счет элювиальных и делювиальных отложений в результате переноса, переработки и сортировки их водными потоками. Дальность переноса, степень переработки и сортировки материала зависит от скорости течения и мощности водного потока, а также от крепости руд, плотности минералов и их химической устойчивости.

Шлиховые потоки и россыпи образуются за счет химически устойчивых и обладающих сравнительно большой плотностью минералов,

выносимых из коренного месторождения. К ним относятся золото, платина, магнетит, гематит, ильменит, рутил, хромит, касситерит, вольфрамит, шеелит, киноварь, циркон, монацит, пиролюзит, барит, корунд, кианит, топаз, алмаз, апатит, флюорит, гранаты и др. Отделение шлиховых минералов от жильных начинается еще в элювии, продолжается в делювии и заканчивается в аллювии. Здесь при перемещении водными потоками минералы измельчаются, окатываются и сортируются. При этом твердые, но хрупкие минералы сравнительно быстро измельчаются, менее хрупкие окатываются и постепенно измельчаются, менее прочные минералы сравнительно быстро измельчаются, распыляются и составляют тонкодиспергированные потоки и ореолы рассеяния.

Аллювиальные тонкодиспергированные потоки рассеяния имеют очень небольшое поисковое значение, так как тонкоизмельченные рудные обломки независимо от их плотности очень легко переносятся на дальние расстояния от источника образования. Проллювиальные и коллювиальные потоки и ореолы механического рассеяния по значению, которое они имеют при поисках, занимают промежуточное положение между делювиальными и аллювиальными. Они характеризуются меньшим площадным распространением и имеют значение лишь при проведении детальных поисков.

Валунно-ледниковые ореолы рассеяния образуются за счет механического разрушения месторождений и переноса рудных обломков на то или иное расстояние движущимся ледником. При этом продукты разрушения, перемещающиеся по дну ледника, подвергаются сильному истиранию, а обломки, находящиеся в леднике, не испытывают существенной механической обработки. Обломочный материал, как правило, не сортируется по размерам частиц: наряду с крупными глыбами, достигающими нередко десятков кубических метров, присутствуют шлиховые и даже тонкодиспергированные фракции. В этом случае степень окатанности рудных обломков не указывает на дальность их переноса. Форма таких ореолов рассеяния обычно близка в плане к треугольнику, в остром углу которого расположено коренное месторождение, подвергнутое разрушению. Направление сноса материала определяется по ледниковым шрамам на «бараньих лбах» и по ледниковым формам рельефа. Ледник может переносить рудные обломки на многие десятки километров.

2. Солевые ореолы и потоки рассеяния образуются в результате сложных химических процессов разложения, растворения, переноса и игреотложения рудного вещества в окружающих породах в виде элементов и солей. Вследствие довольно длительного формирования соленых ореолов в них содержатся не только легко растворимые, но и сравнительно химически устойчивые минералы. При этом соли, растворенные в метеорных, частично в грунтовых и капиллярных водах, могут переноситься на значительное расстояние от коренного рудного тела или выпадать в непосредственной близости от него. Выпадение солей из растворов может вызываться многими

причинами, главными из них являются: а) изменение рН и Eh растворов; б) пересыщение растворов щ-ледствие испарения; в) обменные химические реакции с окружающей средой; г) сорбция элементов рассеяния сорбентами.

Чисто солевые ореолы рассеяния, так же как и механические ореолы рассеяния, встречаются весьма редко. Чаще образуются смешанные (солевые и механические) ореолы и потоки рассеяния, называемые лито-геохимическими. В их формировании помимо механической и химической дезинтеграции и рассеяния рудного вещества принимает участие биогенная аккумуляция элементов, происходящая в верхнем гуминовом слое рыхлых отложений. Наибольшие содержания металлов в литохимических ореолах рассеяния чаще связаны с мелкими фракциями рыхлых отложений (менее 1 мм). Это объясняется тем, что обогащение мелкой фракции происходит не только при механическом рассеянии, но и в результате сорбции, коагуляции и других процессов, связанных с возникновением ореолов. Кроме того, вторичные минералы выделяются обычно в тонкодиспергированном виде или вследствие своей неустойчивости быстро измельчаются и также переходят в тонкие фракции. Повышенное содержание металлов в более крупных фракциях, т. е. обратная картина, наблюдается лишь тогда, когда ореолы рассеяния представлены устойчивыми минералами, особенно вблизи рудных выходов, где минералы еще не измельчены. Морфология и строение (структура) литохимических ореолов и потоков рассеяния определяются в основном типом ореола, особенностями строения рыхлых отложений, пространственным положением и размерами рудных выходов и рельефом местности (рис. 5). В равнинных условиях размеры и контуры литогеохимических ореолов рассеяния целиком обусловлены положением и размерами рудных выходов. В горных условиях контуры их осложняются рельефом местности. Здесь они вытянуты в направлении сноса рыхлого материала нередко на многие сотни метров от рудного выхода. Очертания солевых ореолов и потоков рассеяния обычно более сложные по сравнению с механическими; они определяются комплексом геологических, гидро-геологических и климатических условий. Солевые ореолы рассеяния могут возникать не только непосредственно вблизи рудного выхода, но и на некотором удалении от него. Пространственное положение и очертания смешанных ореолов рассеяния обусловлены факторами, присущими механическим и солевым ореолам. В зависимости от преобладания тех или иных процессов ореолы стоят ближе к механическим или солевым.

3. Водные (гидрогеохимические) ореолы и потоки рассеяния представляют собой области распространения подземных и поверхностных вод с повышенным по сравнению с фоновым содержанием рудо-образующих элементов: K, Na, Mg, Si, Zn, Pb, Fe, Mo, U и др., а также сульфат-иона, хлор-иона и т. п. Они образуются за счет растворения и выноса химических элементов и соединений из рудных тел, а также из первичных и вторичных ореолов рассеяния.

По данным Н. И. Софронова, количество растворенных твердых веществ в природной воде может колебаться по весу от $n \cdot 10^{-6} \%$ до 40%, что составляет отношение концентрации до $n \cdot 10^8$ раз

Из рассмотрения данных табл. 2 видно, что тяжелые элементы присутствуют в водах в исчезающе малых количествах; лишь хлор сера и некоторые другие содержатся в гидросфере в больших количествах чем в литосфере. В речных водах главными минерализаторами являются хлор, натрий, сера, кальций и кремний. Минерализованные подземные воды по количеству растворенных в них элементов резко отличаются от морских и речных вод высокой концентрацией. Растворенные в подземных водах элементы разделяются на четыре группы.

1. Главные, составляющие основную массу растворимых в воде элементов: Na, K, Ca, Mg, Cl, S, N, O, H, C, Al, Si.

2. Элементы, встречающиеся в малых количествах: Li, Rb, Sr, Ba, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Br, I, F, B, P, As.

3. Элементы, редко встречающиеся и в очень малых количествах: Cr, Co, Ti, In, Ga, Ge, Cl, Zr, Ti, V, Hg, Bi, Cd, W, Se, Te, Mo, Ag, Au, Be, Sn, Sb.

4. Радиоактивные элементы: U, Ra, Th, Rn и др.

Для накопления рудообразующих элементов в водах важное значение имеют следующие условия:

1) наличие растворенных первичных или вторичных минералов, слагающих рудные тела или их ореолы рассеяния;

2) интенсивность водной миграции элементов;

3) благоприятная геолого-структурная обстановка, обеспечивающая доступ подземных вод к рудным телам и сопровождающим их ореолам рассеяния;

4) благоприятные палеогеографические и палеогидрогеологические условия, определяющие стадию окисления месторождения и степень проработанности зоны его окисления;

5) инертность вмещающих пород, препятствующая осаждению из растворов элементов и, следовательно, способствующая развитию водных ореолов рассеяния.

Представление о содержании металлов в поверхностных и грунтовых водах безрудных районов и в водах, омывающих месторождения, дают данные табл. 2.

Как видно из табл. 2, содержание металлов в водных ореолах рассеяния рудных месторождений повышается на 1—2 порядка.

Чем большей растворимостью в воде характеризуются минералы, слагающие рудные тела и их ореолы рассеяния, тем отчетливее выражены водные ореолы рассеяния. Галоидные соли калия, натрия, магния и др., как известно, очень легко переходят в раствор. Повышенное содержание их в подземных водах указывает на наличие залежей соли или рассолов этих солей в недрах. По таким поисковым признакам были открыты крупнейшие Верхнекамские месторождения калийных, магниевых и натровых солей.

Высокое содержание калия в районе Индерского озера указывало на наличие залежей калийных солей на глубине, что было подтверждено буровыми скважинами. Повышенное содержание калия в соляных источниках Восточного Прикарпатья послужило основанием для поисков и открытия там калийных солей. Отчетливо выраженные водные ореолы проявляются в связи с сульфидными месторождениями цветных металлов, а также в связи с месторождениями молибдена, бора (осадочного), урана, редких щелочных металлов и др.

В СНГ и Канаде получены очень интересные сведения по опробованию снега и льда в районах сульфидных месторождений. В почвенном льду и снегу, перекрывающих минерализованные площади, установлено наличие Hg, Си, Zn, Cd, Mn, Ni, Pb. Ореолы рассеяния характеризуются значительной шириной. Выяснено, что скорость аккумуляции элементов довольно быстрая и составляет 2—3 мес. Сущность рассеяния и накопления ионов металлов и связанных с ними анионов заключается в ионной миграции через капилляры льда и пленочную воду, обволакивающую снежные кристаллы и заполняющую микропустоты и трещины в снежных слоях.

Участки зоны гипергенеза, на которых происходит резкое изменение миграционной способности элементов, называются геохимическими барьерами. При резком изменении физико-химических и других условий среды существенно изменяются коэффициенты миграции элементов, они выпадают из растворов на небольших площадях и могут образовывать месторождение. Наоборот, плавное, постепенное изменение условий не дает резкого барьера; выпадение элементов происходит на значительных площадях и они дольше остаются в растворе, образуя более широкие солевые и гидрохимические ореолы рассеяния.

Выделяются два класса геохимических барьеров: 1) термодинамический, обусловленный изменением давления и температуры; 2) физико-химический, зависящий от степени кислотности растворов, величины испарения и подобных им факторов. Например, восстановительный сероводородный барьер создается в водоносных горизонтах при встрече вод в окислительных условиях с сероводородом. При этом растворенные в воде металлы (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Hg, Pb, U, V) образуют нерастворимые сульфиды и водный ореол рассеяния исчезает.

Итак, коэффициенты водной миграции элементов, их контрастность, геохимические барьеры позволяют понять образование и поведение как солевых, так и водных ореолов рассеяния месторождений полезных ископаемых и поэтому имеют большое поисковое значение.

4. Газовые, или атмогеохимические, ореолы представляют собой локальное обогащение почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы паро- и газообразными соединениями, связанными с полезными ископаемыми. Такие ореолы рассеяния образуются в результате химических преобразований руд сульфидных месторождений, месторождений ртути; к этой же группе относятся излучения радиоактивных руд; газовые ореолы

рассеяния возникают над месторождениями угля, нефти, а также над собственно газовыми скоплениями (горючие газы, гелий, углекислый газ и т. п.).

По степени радиоактивности породы, руды и минералы разделяются на пять групп.

1. Породы практически нерадиоактивные — активность эквивалентна содержанию $U < n \cdot 10^{-5}\%$.

2. Породы с повышенной радиоактивностью — активность эквивалентна содержанию $U \ n \cdot 10^{-4} — n \cdot 10^{-5}\%$.

3. Породы радиоактивные и убогие радиоактивные руды — активность эквивалентна содержанию $U \ n \cdot 10^{-3}\%$.

4. Высокорадиоактивные руды и бедные руды — активность эквивалентна содержанию $U \ n \cdot 10^{-2}\%$.

5. Богатые и рядовые руды U и Th — активность эквивалентна содержанию $U \ n \cdot 10^{-1}\%$ и более.

Из изверженных пород наибольшей радиоактивностью характеризуются кислые и средние мелкозернистые разности гранитов, слагающие апикальные части интрузивов; ультраосновные и основные породы отличаются наименьшей радиоактивностью.

Существенно отличаются по степени радиоактивности и осадочные породы: наиболее радиоактивными являются торф, углистые сланцы, характеризующиеся повышенной сорбционной способностью; наименьшей радиоактивностью характеризуются галоидные, сульфатные и карбонатные отложения (каменная соль, ангидрит, гипс, известняки, доломиты). Степень радиоактивности этих отложений иногда может повышаться в связи с увеличением в их составе органического и глинисто-илистого вещества.

Над ртутными месторождениями установлено повышенное содержание ртути в почвенном воздухе.

Над месторождениями ископаемых углей, нефти и газов в почвенном воздухе отмечается повышенное содержание углеводородов различного состава за счет поступления этих газов из пластов угля или коллекторов нефти сквозь толщу перекрывающих горных пород.

Большое количество газов, эманлирующих на поверхность земли, связано с разогревом планеты. Химический состав этих газов в местах выхода на поверхность земли весьма неоднороден и зависит от температуры, общего давления, парциального давления, химического состава участвующих в процессе веществ, от количества углерода, H_2O и др. В зависимости от соотношения этих параметров в недрах земли образуются те или иные газы и их группы: CO_2 , CO, CH_4 , H_2 , H_2O , H_2S , SO_2 и др. По подсчетам ученых, количество газов, выделяемых ежегодно Землей, составляет около $10,2 \cdot 10^7$ т. Выходы перечисленных газов на поверхность земли носят локальный характер — они приурочены к глубинным зонам разломов, зонам дробления и другим ослабленным участкам. Большой интерес представляет распределение гелия на Земле. Выполненная на бывших площадях гелиевая

съемка показывает, что максимальная гелиеносность характерна для рифтовых зон и для разломов на участках длительного поднятия (плато и щиты). Подобные и меньшие по масштабу геологические структуры, подтвержденные сейсмическими и гравитационными исследованиями, выявлены в большом количестве в различных районах мира.

Таким образом, газовые эманации, особенно связанные с глубинными очагами, представляют собой очень важный поисковый признак, так как служат основанием для проведения атмохимической съемки. В результате проведения этой съемки выявляются не только рудоносные структуры, но и месторождения полезных ископаемых (нефти, газа, ископаемого угля и др.).

5. Биогеохимические ореолы рассеяния представляют собой области распространения живых организмов (растений) с повышенным содержанием химических элементов, входящих в состав месторождений, и их первичных и вторичных ореолов рассеяния.

В работах А. П. Виноградова, Д. П. Малюги, С. М. Ткалича, В. В. Поликарпочкина и других отечественных, а также зарубежных исследователей приводятся следующие основные виды концентрации элементов в растениях: во-первых, над месторождениями или их ореолами рассеяния все растения характеризуются повышенным содержанием некоторых элементов; во-вторых, повышенная концентрация элементов может происходить селективно, растениями только определенного вида. Например, известны виды цинковой, литиевой, алюминиевой и другой флоры. Содержание элементов в растениях и их контрастность в ореолах рассеяния зависят от многих факторов. Главными из них являются величина содержаний элементов в самом месторождении и его ореолах рассеяния, степень распространенности элементов в земной коре и другие их геохимические особенности.

Максимальные концентрации элементов в растениях на месторождениях могут превышать фоновые на два и даже три порядка. Морфология и размеры биохимических ореолов рассеяния обычно совпадают с формой и размерами вторичных литохимических ореолов рассеяния, хотя в отдельных случаях наблюдаются ореолы рассеяния в растениях в некотором удалении от месторождения, и тогда их положение обусловлено наличием в почве элементов, принесенных водными потоками. Так как в растениях могут присутствовать фактически все химические элементы, то можно считать, что все элементы минерального питания могут быть использованы в качестве элементов-индикаторов. Однако их эффективность разная.

В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина разделяют элементы минерального питания по их индикаторной эффективности на четыре группы. К первой группе относятся элементы, широко распространенные в земной коре и характеризующиеся высокими кларками — Si, Al, Na, Fe и т. п. Содержание этих элементов весьма высокое как в месторождениях, так и за их пределами, поэтому индикаторное значение их невелико. Вторая группа представлена жизненно важными для растений элементами,

накапливающимися в них в большом количестве — К, Р, Са, Mg, N. Их индикаторная эффективность также невелика, так как они составляют довольно высокий фон и сравнительно небольшое превышение концентрации над фоном.

В третью группу входят макроэлементы — Zn, Cu, Cd, В, Мп, I, Вг и др. Содержания этих элементов в золе растений выше по сравнению с содержаниями их в литосфере. Эти элементы, как известно, характеризуются сравнительно высокой подвижностью в условиях приповерхностной зоны земли. Они, так же как и элементы второй группы, образуют довольно высокие фоновые содержания вследствие концентрации элементов в растениях на безрудных участках и характеризуются низкой контрастностью аномалий. Это объясняется наличием предела концентрации элементов в растениях и высоким их фоновым содержанием. Однако различие фонового содержания этих элементов по сравнению с аномальным значительно больше, чем у элементов второй группы. Поэтому проведение биогеохимических поисков по этим элементам дает положительные результаты.

К четвертой группе относятся многие микрокомпоненты, характеризующиеся сравнительно малой подвижностью в приповерхностной зоне земли — Rb, W, Аи, Та, Nb и др. Эти элементы являются наилучшими биогеохимическими индикаторами. Повышенные их содержания в растениях по сравнению с кларковыми определенно указывают на концентрацию этих элементов в горных породах. Контрастность биогеохимических ореолов рассеяния этих элементов весьма высокая.

Химические элементы неравномерно распределяются по органам растений. Наибольшее количество золы содержится в их листьях, наименьшее — в древесине.

Содержание элементов в растениях может также изменяться в зависимости от возраста растений и времени года. В табл. 25 приведены данные Б. Ф. Мицкевича о характере изменения содержания металлов в условиях Полесья.

Представление о содержании некоторых элементов в золе обычных растений и растений, произрастающих над месторождениями, дает табл. 26. Она показывает, что в золе растений, произрастающих над некоторыми рудными месторождениями, содержание соответствующих металлов увеличивается в 10—100 раз и даже в 1000 раз по сравнению с содержанием этих элементов в золе обычных растений, и такая разница может быть определена существующими методами анализов.

Наибольшее значение для поисков имеют растения, обладающие развитой корневой системой.

Следы старых горных работ или переработки полезного ископаемого и исторические данные о горном промысле. Важным указанием на наличие полезных ископаемых могут явиться прежде всего различные фондовые, архивные и другие литературные источники: отчеты о путешествиях, геологи-

ческих исследованиях, геологических съемках, поисках, разведке, разработке и переработке полезных ископаемых. Кроме того, следует использовать заявки о наличии полезных ископаемых, отчеты о результатах их проверки, а также отчеты ревизионных партий и т. п.

Прямым указанием на наличие полезных ископаемых служат также следы прежней разработки и переработки руд в давно прошедшее время. Это старые, обычно в значительной степени засыпанные рыхлыми отложениями и покрытые растительным покровом горные выработки: штольни, уклоны, шурфы, шахты, карьеры, щелеобразные выработки и т. п.

Вблизи них всегда расположены отвалы, также покрытые растительностью и нередко обнаруживаемые по положительным формам микро-рельефа. Сами горные выработки, как правило, бывают засыпанными и при поисковых работах недоступны для наблюдения. Отвалы этих выработок почти всегда содержат жильные, а нередко и рудные минералы или продукты их окисления.

О близости месторождений полезных ископаемых также можно судить по наличию следов переработки руд. Таковы, например, развалины древних печей, отвалы шлака и т. п. Так как предприятия, перерабатывающие руду, обычно были расположены по берегам рек, то шлаки нередко можно обнаружить в речных отложениях на большом протяжении. По наличию рудных включений в шлаках и по их химическому составу можно судить о характере руд.

Древние горные выработки, связанные с разработкой полезных ископаемых, известны в различных районах нашей страны: на Урале, Алтае, в Казахстане, Средней Азии, Сибири, Карелии и др. Древние выработки встречаются на месторождениях полезных ископаемых, давно используемых человечеством. Это железо, свинец, медь, олово, золото, серебро, ртуть, слюда, драгоценные и поделочные камни, строительные материалы и т. п. Наоборот, на месторождениях полезных ископаемых, ранее не использовавшихся человечеством (марганец, хром, никель, вольфрам, молибден и др.), они почти отсутствуют.

ПРИЛОЖЕНИЕ

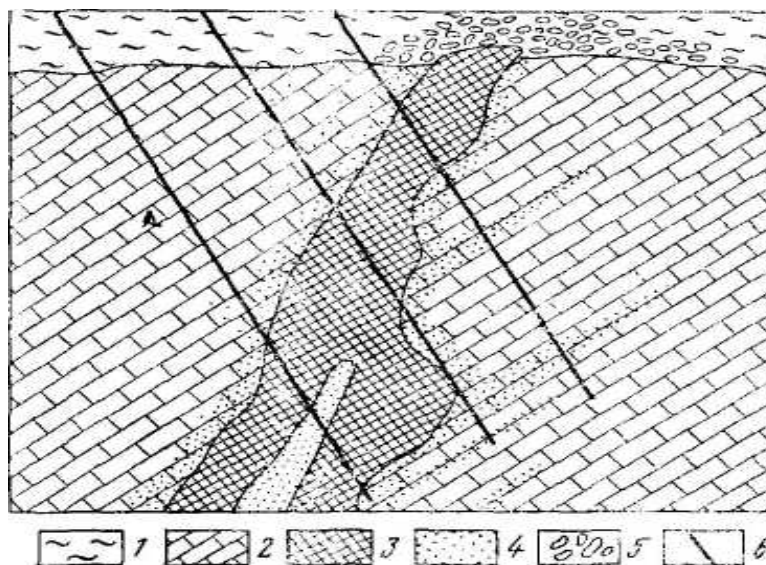


Рис. 1. Схема строения ореола рассеяния вокруг одиночного рудного тела
 1 — аллювиальные отложения; 2 — известняки, вмещающие оруденение; 3 — рудное тело; 4 — первичный ореол рассеяния; 5 — вторичный ореол рассеяния; 6 — скважины

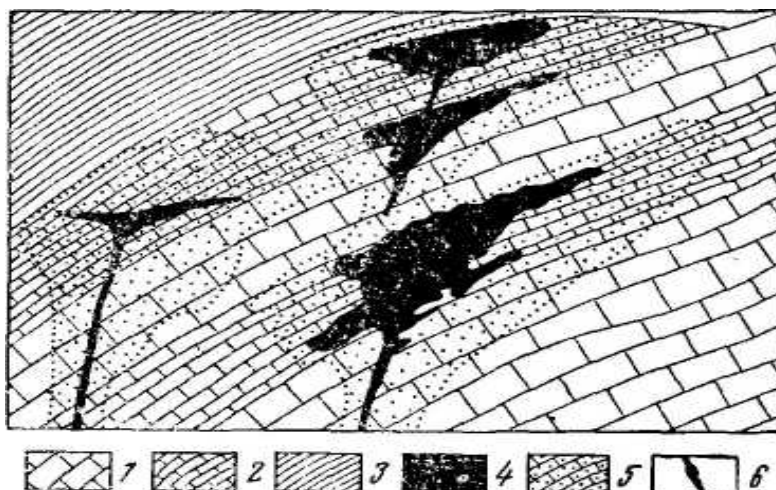


Рис. 2. Схема строения первичного ореола рассеяния вокруг сближенных рудных тел.
 1 — массивные плотные известняки; 2 — слоистые трещиноватые известняки; 3 — глинистые сланцы; 4 — рудные тела; 5 — первичный ореол рассеяния; 6 — рудные прожилки

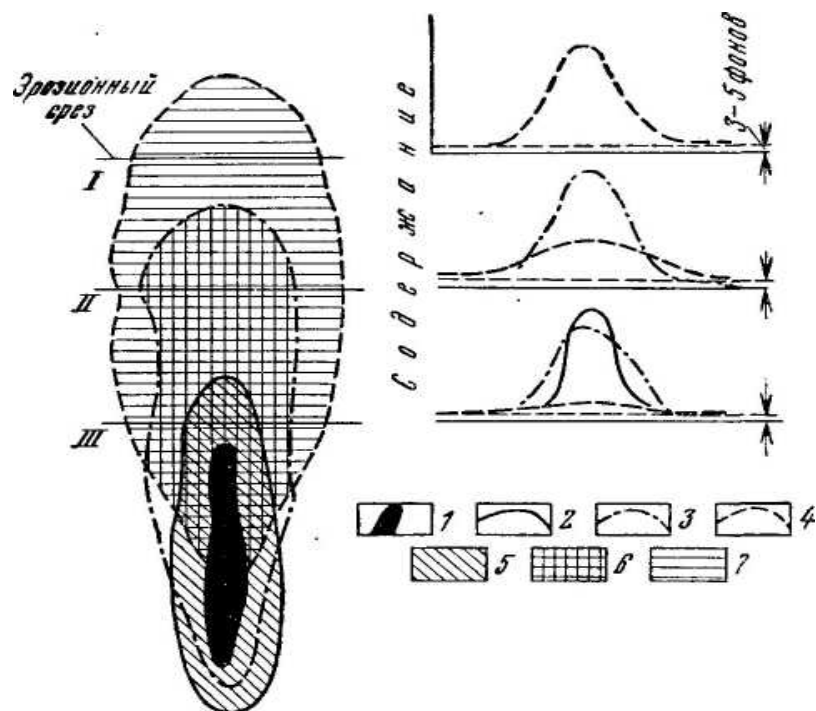


Рис. 3. Схема строения простейшего ореола первичного рассеяния постмагматического месторождения (разрез),
1 — рудное тело; 2 — граница ближней зоны (III) ореола рассеяния по содержанию 3—5 фонов; 3 — то же, средней зоны II; 4 — то же, дальней зоны (I);
5 — площадь ореола рассеяния элементов ближней зоны; 6 — то же, средней зоны;
7 — то же, дальней зоны.

Рн	t, °C	ширина ореола, м	Рудная формация	Относительная величина ореолов											
				W	Mo	Au	Sn	U	Cu	Zn	Pb	Ba	As	Sb	Hg
5-7	500-300	0-500	Грейзеновая												
			Кварц-золото-рудная												
			Золото-мышьяковая												
			Сульфидно-касситеритовая												
			Медно-мolibденовая												
			Урано-мolibденовая												
			Меднокалчеданная												
			Калчеданно-полиметаллическая												
			Свинцово-цинково-баритовая												
>9	200-50	>500	Ртутно-сурьмяная												

Рис. 4. Схема развития первичных ореолов рассеяния гидротермальных месторождений. По Н. В. Никитину.

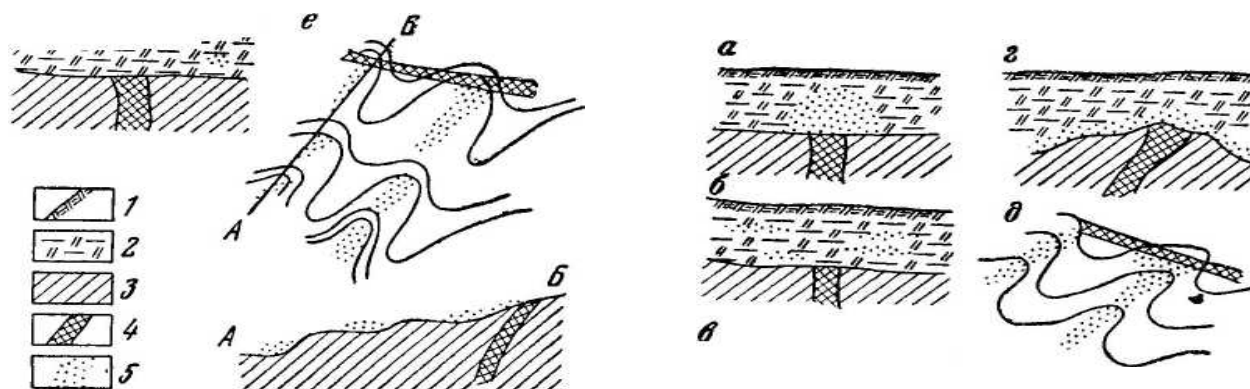


Рис. 5. Схема строения вторичных литохимических ореолов рассеяния.

Типы структур ореолов: а – куполообразный; б – слоистый; в – пятнистый; г – площадной; д – струйчатый; е – ступенчатый.

1 – растительный слой; 2 – элювиально-делювиальные отложения; 3 – коренные породы; 4 – рудное тело; 5 – вторичные литохимические ореолы рассеяния

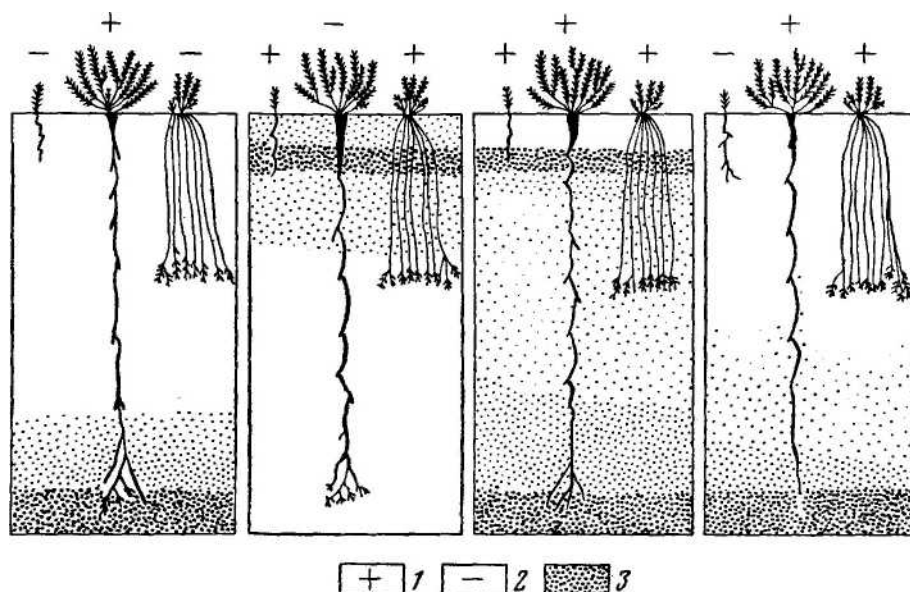


Рис. 6. Схема зависимости содержания бора в растениях от глубины проникновения корневой системы и распределения бора в породах. По Л. И. Швыряевой.

1 — повышенное содержание бора в растениях; 2 — фоновые содержания бора в растениях; 3 — горизонты, обогащенные бором

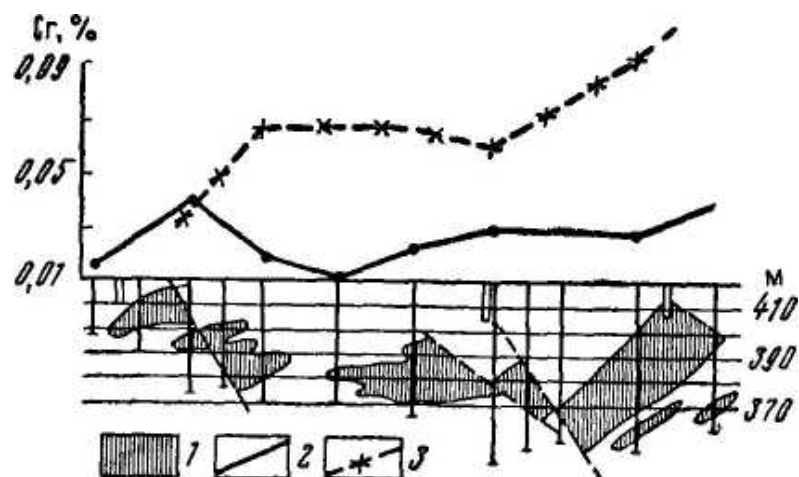


Рис. 7. Распределение хрома в золе растений и почвах в связи с рудными телами Викторовского хромитового месторождения.

1 — рудные тела; 2 — кривая содержания хрома в растениях; 3 — кривая содержания хрома в почвах.

Табл. 1

Группа элементов таблицы Менделеева	Зоны ореола		
	ближняя	средняя	дальняя
I	(Au), Li	Си, Ag, Rb, (Cs)	(Rb), Cs
II	Be	Zn, Cd, Ba	Hg
III	La, Y	—	Tl
IV	Sn	Pb	—
V	—	As, Sb	—
VI	W, S	U, Mo, S	S
VII	F	Cl	Br, I
VIII	Co, Fe	Fe	Fe

Табл. 2 Содержание некоторых металлов в поверхностных и грунтовых водах (в г/л) По А. И. Перельману и А.А. Саукову.

Металлы	Поверхностные и грунтовые воды безрудных районов	Воды, дренирующие месторождения данного металла
Никель	$n \cdot 10^{-6} — n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5} — n \cdot 10^{-3}$
Кобальт	$n \cdot 10^{-7} — n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5} — n \cdot 10^{-3}$
Цинк	$n \cdot 10^{-7} — n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$
Медь	$n \cdot 10^{-6} — n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$
Уран	$n \cdot 10^{-8} — n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5} — n \cdot 10^{-3}$
Молибден	$n \cdot 10^{-7} — n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5} — n \cdot 10^{-4}$
Свинец	$n \cdot 10^{-7} — n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-3}$

Табл. 3 Изменение содержания элементов в растениях в зависимости от времени года

Виды растительности	Максимальное содержание металлов, установленное		
	20 апреля	14 июля	30 сентября
Береза, листья (<i>Retula verrucosa</i>)	Ni, Co, V	Y	La
Ольха, листья (<i>Almis glitiosa</i>)	Y	Ti, Ga, Ni, Ca	Zr, Ga
Сосна, хвоя (<i>Pinus Sllvestris</i>)	Sn	--	Y, Ni, Ca

КОСВЕННЫЕ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ

Измененные околорудные породы

Изменения горных пород могут происходить: при процессах образования полезных ископаемых и при их разрушении.

При эндогенных процессах рудообразования наиболее характерными околорудными изменениями горных пород являются скарнирование, грейзенизация, окварцевание, доломитизация, каолинизация, серпентинизация, серицитизация, хлоритизация и др. Такие околорудные изменения пород служат очень важными косвенными поисковыми признаками, так как проявляются иногда на значительно больших площадях и в больших объемах, чем сами рудные тела. Они являются косвенными поисковыми признаками, поскольку наличие их свидетельствует о процессах минералообразования, не всегда сопровождаемых оруденением. Скарны и скарнированные породы характерны для многочисленных месторождений железа, меди, свинца, цинка, вольфрама, молибдена, бериллия, золота, кобальта, мышьяка, олова, бора. Гранаты в скарнах в известной мере указывают на возможное оруденение. Так, с гранатами андрадитового состава ассоциируется железо, свинцово-цинковое и кобальтовое оруденение; с гранатамиgrossулярового состава — свинцово-вольфрамовое оруденение; к гранатам андрадит-grossулярового состава приурочены оруденения меди и частично вольфрама.

Процессы грейзенизации сопровождают определенное рудное минералообразование: касситерита, вольфрамита, шеелита, молибденита, берилла, танталита-колумбита и иногда самородного висмута. Грейзены, генетически связанные с кислыми гранитными интрузиями, сопровождают несulfидный тип оруденения: касситеритовые и вольфрамовые месторождения, иногда с небольшой примесью sulfидов. Грейзены, связанные с интрузиями гранодиоритового состава, сопутствуют sulfидному типу оруденения, представленному sulfидами железа, меди, олова, висмута, молибдена, цинка, свинца, мышьяка и некоторым количеством касситерита и вольфрамита.

Для поисковых целей очень важно, что грейzenам определенного состава отвечают определенные полезные ископаемые. Так, sulfидные руды олова сопровождаются грейzenами турмалинового и турмалин-хлоритового состава; окисные руды олова — грейzenами топазового состава; вольфрамовые руды — грейzenами флогопитового типа; молибденовое оруденение — грейzenами флогопито-мусковитового состава и т. д.

Окварцевание породы. Гидротермальное изменение кислых и средних, главным образом эффузивных пород, приводит к образованию так называемых вторичных кварцитов. С кварцитами, развивающимися по кислым породам, преимущественно связаны неметаллические полезные ископаемые: алунит, каолинит, пиррофиллит, диаспор, андалузит, корунд и др.

К кварцитам, образовавшимся за счет пород среднего состава, приурочены скопления меди, а также свинцово-цинковых и золото-серебряных руд; реже с ними бывают связаны оруденения молибдена, висмута, мышьяка, сурьмы и ртути.

Окварцеванию нередко подвергаются карбонатные породы: известняки, доломиты. Такие окварцованные породы называются джасперидами. С ними обычно бывают связаны среднетемпературные месторождения полиметаллов (Восточное Забайкалье, Центральный Казахстан и др.). Окварцевание карбонатных, а также силикатных пород сопровождает и низкотемпературные сурьмяно-ртутные месторождения. Окварцованные породы являются также поисковым признаком месторождений флогопита, барита, виверита и др.

Серицитизация является наиболее распространенным процессом гидротермального изменения, особенно полевошпатовых пород. Наиболее широко серицитизации подвергаются указанные породы при воздействии на них среднетемпературных гидротермальных растворов. При более высокотемпературных гидротермальных процессах серицитизированные породы являются внешними краевыми фациями грейзенов, турмалинизированных мусковитизированных зон, а также вторичных кварцитов.

Серицитизированные породы являются важным поисковым признаком месторождений золота, меди, свинца, цинка, мышьяка и некоторых редких металлов.

Следует иметь в виду, что серицитизации подвергаются горные породы и в процессе регионального метаморфизма, но тогда они не имеют поискового значения. Серицитизированные породы, связанные с гидротермальными процессами, в отличие от аналогичных пород, возникших при региональном метаморфизме, распространены на ограниченных площадях, чаще развиваются по зонам тектонических нарушений и сопровождаются другими гидротермальными изменениями пород, окварцеванием, турмалинизацией, хлоритизацией и др.

Каолинизация сопровождает средне- и низкотемпературные гидротермальные месторождения полиметаллов, олова, золота, флюорита, а также хрусталеносных кварцевых и отчасти блрит-виверитовых жил. Хлоритизации подвергаются породы главным образом ультраосновного, частично среднего и редко кислого состава при процессах регионального, контактового метаморфизма, аутометаморфизма или под действием гидротермальных растворов.

Для поисковых целей наибольший интерес представляют хлоритизированные породы, возникающие при гидротермальных процессах. Они характеризуются развитием на сравнительно ограниченных площадях и почти всегда сопровождаются другими гидротермально измененными породами — серицитизированными, окварцованными и т. п.

Сочетание хлоритизированных пород с другими гидротермально измененными породами, а также состав хлоритов могут указывать на возможность выявления тех или иных полезных ископаемых. Так, кварц-хлоритовые и серицит-хлоритовые породы часто сопровождают сульфидно-касситеритовые месторождения и иногда медноколчеданные и полиметаллические; турмалин-хлоритовые породы свидетельствуют о возможности нахождения преимущественно касситерит-сульфидных месторождений; биотит-хлоритовые породы сопровождают колчеданные и меднопорфировые оруденения; породы, состоящие целиком из хлорита, встречаются редко и обычно являются оторочками вокруг рудных тел некоторых хромитовых, полиметаллических, сульфидно-касситеритовых месторождений.

Установлено, что сульфидно-касситеритовые месторождения сопровождаются железистыми хлоритами (группа тюрингита), колчеданные месторождения — магнезиально-железистыми (группа рипидолита), полиметаллические месторождения — магнезиальными (группа пеннин-клинохлора).

Доломитизация пород. В отличие от доломитов осадочного происхождения, залегающих в форме пластов и занимающих обычно большие площади, доломитизация карбонатных пород, вызываемая гидротермальными процессами, развивается лишь на отдельных участках и часто контролируется трещинами. Такие участки пород обычно характеризуются светлой окраской и крупнозернистостью по сравнению с недоломитизированными известняками.

Доломитизированные породы являются косвенным поисковым признаком низкотемпературных, реже среднетемпературных месторождений полиметаллов, барит-вентеритовых и сидеритовых месторождений.

Серпентинизация пород. Серпентинизация ультраосновных пород может происходить в результате автометаморфизма (петельчатые серпентиниты), динамометаморфизма (антигоритовые серпентиниты), и в этих случаях носит региональный характер. Однако для поисков полезных ископаемых особенно важны зоны серпентинизации, возникающие под воздействием гидротермальных растворов. Серпентинизация в этом случае сопровождается оталькованием, карбонатизацией и хлоритизацией ультраосновных пород; развивается она обычно вдоль зон разломов. Наличие таких зон серпентинизации ультраосновных пород, особенно перидотитов является важным поисковым признаком месторождений хризотил-асбеста.

Перспективными для нахождения месторождений хризотил-асбеста являются также серпентинизированные участки ультраосновных пород, расположенные вдоль контактов с более молодыми кислыми породами, а также эндоконтакты серпентинизированных ультраосновных пород, рассеянных дайками кислого состава.

В ультраосновных породах иногда наблюдаются так называемые реакционные полосы, состоящие из биотита (иногда вермикулита, хлорита),

актинолита, талька и серпентинита, отличающиеся от темного фона неизменных ультраосновных пород яркой окраской. Они являются поисковым признаком корундовых плагиоклазитов, марундитов и талька.

К другим видам гидротермальных изменений горных пород, которые служат косвенными поисковыми признаками, относятся баритизация, цеолитизация, лиственитизация, пропилитизация, карбонатизация, флюоритизация. Лиственитизация, развивающаяся по ультраосновным породам, указывает на возможность обнаружения месторождений талька; лиственитизация основных пород является поисковым признаком на кварцево-золотоносные и медно-кобальтовые оруденения, а также на жильные месторождения меди, содержащие никель и кобальт (Урал). Пропил и тизированные породы указывают на возможность нахождения сульфидных месторождений. Карбонатизация, флюоритизация и баритизация горных пород свидетельствуют о развитии гидротермальных процессов и часто являются поисковыми признаками средне- и низкотемпературных полиметаллических месторождений золота и др.

Цеолитизация пород свидетельствует о проявлении низкотемпературных процессов минералообразования. Она является важным поисковым признаком месторождений исландского шпата и некоторых других полезных ископаемых.

Важное поисковое значение имеет окраска пород, связанная с процессами минералообразования. Так, кирпично-красный и желтовато-бурый цвета пород указывают на присутствие железных руд; зеленоватобелая, желтая и розовая окраска гидротермальноизмененных даек пироксенита, микрогаббро, диабазов и плагиоклазита, залегающих в перидотитах, указывает на возможное присутствие здесь месторождений хризотил-асбеста; черные, темно-зеленые или темно-серые участки среди кристаллических известняков, могут оказаться магнетит-гематитовыми, хлоритоидными и маргаритовыми наждаками; красивые яблочно-зеленые, розовые и желтые тона доломитизированных известняков вблизи контактов их с жильными породами типа диабазов, порфиритов, габбродиабазов и других являются хорошим поисковым признаком на асбестоносные серпентиниты.

Важное поисковое значение имеет околорудное изменение горных пород, выражающееся в их углефикации. Установлена тесная связь крупных колчеданных месторождений с толщами горных пород, содержащих углистое вещество. Это явление известно на месторождениях Текели в Средней Азии, Николаевском на Рудном Алтае и др. На месторождении Текели носителями углистого вещества являются мета-морфизованные мергелеподобные образования (углисто-глинистые доломиты) и глинистые филлитоподобные сланцы. Из-за присутствия в них углистого вещества они имеют черный цвет. Углистое вещество содержится также в рудах. По данным рентгеновского анализа, оно находится в аморфном состоянии. Установлено, что в удалении от рудных тел углистое вещество распределено относительно равномерно

при среднем содержании его в породах 3,5%; при приближении к колчеданных рудам отмечается повышенное содержание углерода при весьма неравномерном его распределении. Максимальное содержание органического углерода обнаруживается в непосредственной близости к колчеданным рудам, где оно достигает 27,14%; такие обогащенные углеродом участки чередуются с участками, где углерода мало; в рудах содержание углерода минимальное. Поскольку считается, что углистое вещество имеет осадочное происхождение, неравномерное распределение его связывают с формированием рудных тел. В результате миграции углерода из горных пород происходит их обесцвечивание. Углерод взаимодействуя с грудными флюидами, переходит в газообразные продукты CO, CO₂ и др.

В результате процессов приповерхностного изменения и разрушения месторождений происходят околорудные изменения пород, которые также могут быть использованы как поисковые признаки. Прежде всего следует указать на обохрение пород, возникающие при окислении многих сульфидных месторождений. В верхних частях таких месторождений возникает железная шляпа, состоящая из различных водных окислов железа, иногда с гематитом, кремнеземом, труднорастворимыми окислами и солями других металлов, а также из некоторого количества первичных, еще не растворившихся минералов. Процессы окисления сульфидов и образование железных шляп описаны в классической работе С. С. Смирнова.

Обохренные породы, возникшие за счет разложения сульфидов, отличаются обычно наличием индикаторных текстур лимонитов, значительной пористостью, наличием пустот выщелачивания, а иногда и присутствием более устойчивых неразложившихся зерен сульфидов, присутствие в обохренных породах аннабергита (зеленые «никелевые цветы») и эритрина (розовые «кобальтовые цветы») указывает на разрушение руд никеля и кобальта. Обохренные породы, образовавшиеся за счет медных вкрапленных сульфидных руд, содержат налеты, примазки и прожилки медной зелени и сини, а в сухое время года — корочки гипса и других сульфатов.

Важным поисковым признаком являются осветленные породы. Обеленные выщелоченные породы возникают в результате воздействия кислых сульфатных вод и нередко сопровождают сульфидные рудные месторождения.

«Горелые» (шлаковидные) породы, возникающие вследствие подземных пожаров, являются хорошим поисковым признаком угольных месторождений, и т. п.

Жильные минералы, сопутствующие оруденению

Как известно, для эндогенных и особенно для гидротермальных месторождений иногда характерна определенная зональность в распределении слагающих их минералов. При этом зона жильных минералов составляет периферические части рудных тел и нередко распространяется во вмещающих породах вверх и по флангам от рудного тела на значительные

расстояния. Такие безрудные зоны гидротермального происхождения являются хорошим поисковым признаком.

О. Д. Левицкий и В. И. Смирнов по характеру исходного материала выделяют четыре типа периферических безрудных зон. Зоны первого типа представлены минералами, образовавшимися за счет вещества, вынесенного из недр Земли рудоносными растворами. Зоны второго типа состоят из безрудных минералов, образовавшихся за счет выноса и переотложения вещества вмещающих горных пород при метасоматических процессах. Зоны третьего типа представлены безрудными минералами, возникшими за счет переотложения минерального вещества ранних стадий рудообразования при внутрирудном метасоматозе. Зоны четвертого типа содержат безрудные минералы смешанного происхождения.

Наиболее характерными типоморфными минералами зон первого типа являются барит, флюорит, реже сидерит и кварц, иногда кальцит и другие карбонаты. Безрудные баритовые жилы этого типа установлены в верхних частях полиметаллических месторождений Кавказа, Казахстана, Карамазара, Рудного Алтая и др. Некоторые баритовые жилы месторождений Апришры, Чарды (Грузия), Човдара (Азербайджан) на глубине 300—500 м от поверхности земли переходят сначала в бедные свинцово-баритовые, а еще ниже иногда в богатые полиметаллические руды.

Безрудные флюоритовые зоны встречаются над гидротермальными рудными месторождениями реже, чем баритовые. Однако и их можно считать поисковыми признаками скрытого оруденения. Известно много случаев такой зональности. Так, В. И. Смирнов наблюдал кварц-флюоритовые жилы над месторождениями Актюз в Северной Киргизии. Безрудные флюоритовые зоны установлены на полиметаллическом месторождении Кентукки в США и т. д. Часто верхние и фланговые части рудных тел представлены зонами (иногда маломощными прожилками) карбонатов, кварца, халцедона.

Типоморфными минералами безрудных зон второго типа являются различные карбонаты: главным образом кальцит, реже доломит, магнезит, анкерит, манганокальцит, манганоанкерит и сидерит. Указанные минералы встречаются в виде жил, прожилков и гнезд на продолжении рудных тел в известняках и доломитах. Подобные зоны имеют место на золоторудных месторождениях Алдана, на Лениногорском полиметаллическом месторождении и многих других.

Безрудные зоны третьего типа могут быть представлены различными жильными минералами. Например, на месторождениях пятиэлементной формации Рудных гор Центральной Европы по мере удаления от рудных тел устанавливается такая последовательность отложения безрудных минералов: барит, флюорит, карбонаты (кальцит). Последние составляют жилы на расстоянии до 100 м от промышленных частей жил.

Указанные безрудные зоны имеют большое значение для поисков скрытых, залегающих на глубине, рудных тел. Однако следует иметь в виду, что скопления безрудных минералов могут быть и не связаны с оруденением.

Важным отличием безрудных зон, указывающим на наличие оруденения на глубине, от аналогичных зон, не связанных с оруденением, является присутствие в их составе примесей рудных минералов, а в нерудных минералах — рудных элементов.

Различие физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород

Различные физические свойства горных пород и руд являются основой геофизических методов поисков. Под геофизическими аномалиями понимаются значительные отклонения от нормального значения физических полей. Наличие тех или иных геофизических аномалий указывает на неоднородность физических полей, а следовательно, и на возможность обнаружения месторождений, или позволяет судить об особенностях геологического строения исследуемой территории. Поэтому геофизические аномалии являются поисковыми признаками месторождений полезных ископаемых. При этом одни из них, например магнитные и радиоактивные аномалии, могут непосредственно указывать на наличие месторождения и по своему значению должны рассматриваться как прямые поисковые признаки, другие — электрические, гравитационные, сейсмические — имеют значение косвенных поисковых признаков. Ниже приводится краткая характеристика наиболее типичных геофизических аномалий.

Магнитными аномалиями называются отклонения магнитной восприимчивости в точке измерений от нормального магнитного поля. Интенсивность магнитного поля измеряется в гаммах. По величине интенсивности выделяют слабые аномалии, отличающиеся от нормального поля на десятки и сотни гамм, средние — на тысячи гамм и сильные — на десятки тысяч гамм.

Слабые магнитные аномалии вызываются различными горными породами, содержащими железистые минералы, а также рассеянную вкрапленность магнитных минералов. Аномалии средней интенсивности обусловлены наличием залежей гематитовых руд, медно-никелевых руд, содержащих пирротин, бокситов, скарнов, кимбелитовых трубок, а также присутствием на изучаемых площадях пород с повышенной магнитной восприимчивостью. Сильные магнитные аномалии обусловлены большими скоплениями магнитных руд: магнетитовых железистых кварцитов, магнетитовых скарнов, титаномagnetитовых руд и т. п.

Радиоактивные аномалии вызываются присутствием повышенного количества радиоактивных элементов в тех или иных горных породах и рудах, слагающих отдельные участки земной коры, или наличием в почвенном воздухе газообразных продуктов радиоактивного распада радона и торона, в связи с чем различают гамма-аномалии и эманационные аномалии. Первые из них представляют собой участки, отличающиеся повышенной интенсивностью гамма-излучения по сравнению с нормальным фоном. Последний, состоит из космического излучения, собственного фона прибора и излучения менее радиоактивных пород, слагающих изучаемую

территорию. Гамма-излучения измеряются в микрорентгенах в единицу времени. Величина гамма-аномалий может колебаться от нескольких микрорентген в час до десятков и тысяч микрорентген в час.

Эманиационные аномалии представляют собой участки, характеризующиеся повышенным содержанием радиоактивных эманиции в почвенном воздухе по сравнению с нормальным эманиационным полем, близким к кларковому. Эманиационными аномалиями считаются такие участки, где повышенная радиоактивность выражается в десятках, сотнях и даже в тысячах эман. При этом выделяют радоновые, тороновые и смешанные аномалии. Эманиационные аномалии свидетельствуют о наличии скоплений урана и других элементов, генетически связанных с ураном. Кроме того, эманиационные аномалии могут указывать на наличие рудоконтролирующих структур.

Электрические аномалии. Сущность электрических аномалий заключается в том, что разные горные породы и залежи полезных ископаемых характеризуются различными электрическими свойствами: удельным электрическим сопротивлением, диэлектрической проницаемостью и электрохимическими особенностями.

Различия в указанных электрических свойствах горных пород и руд обусловлены их составом, структурой, текстурой и условиями залегания. Следовательно, участки земной коры, отличающиеся электрическими свойствами от пород окружающих территорий, могут быть обнаружены путем измерения этих свойств. Это является основой методов электрометрии, при помощи которых в настоящее время удается решать весьма разнообразные геологопоисковые задачи. Изучение изменения электрических свойств горных пород в горизонтальном и вертикальном направлении позволяет установить контакты между изверженными и осадочными породами, границы между различными осадочными породами, тектонические зоны разломов, выявить местоположение малых интрузий, рудных тел, угольных пластов, водоносных горизонтов, зоны развития карста и т. п.

Сейсмоэлектрические аномалии. Как известно, пьезоэлектричество возникает в некоторых анизотропных кристаллах под воздействием механического напряжения. Повышенными пьезоэлектрическими свойствами обладают кварц, турмалин, нефелин, цинковая обманка, а также сегнетовая соль и др. К настоящему времени установлено, что при распространении упругой волны через породы, содержащие минералы — пьезоэлектрики, возбуждается электромагнитное поле, величина которого достаточна для его регистрации (50 мкВ и более). Наибольшая величина пьезоэффекта по сравнению с вмещающими породами (гранитами, сланцами и др.) установлена над кварцевыми, кварцево-рудными и пегматитовыми телами.

За последнее время установлено, что сейсмоэлектрические аномалии могут быть связаны не только с кварцевыми или с другими минералами, обладающими пьезоэлектрическими свойствами, но и с локальными зонами

трещиноватых и обводненных пород, зонами тектонических нарушений, а также с повышенными значениями естественного электрического поля Земли. Поэтому сейчас такие аномалии называют сейсмoeлектрическими, а не пьезoeлектрическими.

Аномалии вызванной поляризации. Вызванная поляризация обусловлена прохождением электрического тока через породу, содержащую электропроводящие минералы, а также через раствор, находящийся в порах породы. Вызванная поляризация возникает в неоднородной среде, состоящей из твердого вещества и жидкости — электролита, и связана с физико-химическими процессами, происходящими в пограничном слое между твердым и жидким веществом. Следовательно, вызванная поляризация представляет собой физико-химическое явление, происходящее в породах под действием электрического тока и сопровождающееся возникновением вторичных электродвижущих сил, существующих некоторое время после включения тока. Сопутствующее этому явлению вторичное электрическое поле называют вызванной поляризацией.

Составные части породы по величине и характеру электропроводности могут состоять из изоляторов, электронных и ионных проводников. К изоляторам относится большая часть породообразующих минералов, характеризующихся удельным электрическим сопротивлением более 10^8 Ом·м, а также газ, находящийся в порах породы, сопротивление которого еще выше. К электронным проводникам относятся большее число сульфидов, магнетит, пиролюзит, графит, а также антрацит и шунгит. Они характеризуются низким удельным электрическим сопротивлением — от 10^{-5} до 10^{-2} Ом·м. Ионными проводниками являются водные растворы — электролиты, находящиеся в порах породы. Их удельное сопротивление зависит от концентрации раствора и изменяется от 0,1 до 400 Ом·м.

Таким образом, аномалии вызванной поляризации обусловлены электропроводящими минералами, представленными главным образом сульфидными рудами, особенно вкрапленными, обнаружение которых другими геофизическими методами неэффективно. К настоящему времени этим методом открыты медноколчеданные, полиметаллические, редкометалльные и другие промышленные месторождения и рудопроявления. При этом используются как наземные, так и скважинные варианты метода вызванной поляризации.

Гравитационные аномалии. Под гравитационными аномалиями понимается повышенное значение ускорения силы тяжести или вторых производных потенциала силы тяжести на отдельных участках земной поверхности по сравнению с нормальным значением этих величин для окружающей территории. Гравитационные аномалии обусловлены различиями в плотности пород и руд и измеряются в миллигалах. Они вызываются наличием в земной коре железных руд (месторождения КМА, Кривой Рог, Кустанай), значительными скоплениями сульфидных руд,

хромитов и некоторых других руд, характеризующихся повышенной плотностью.

Сейсмические аномалии вызываются неодинаковыми упругими свойствами пород и выражаются в различной скорости распространения упругих волн от места возбуждения до пункта приема. Изучение сейсмических свойств особенно эффективно позволяет выявлять структуру пород и связанные с ней залежи полезных ископаемых (месторождения нефти, газа и др.).

Аномалии звуковой геолокации. Звуковая геолокация применяется для изучения пород, залегающих под дном акваторий. Сущность метода состоит в том, что в воде возбуждается импульс упругих колебаний звукового диапазона частот, который достигает дна и отражается от него. Этот отраженный уровень определяет рельеф поверхности дна; при этом одна часть энергии проникает в первый слой грунта и отражается от раздела со следующим слоем, а другая — проникает в следующий слой и отражается от поверхности раздела со следующим слоем и т. д.

Отраженные от поверхности дна и раздела разнородных слоев импульсы регистрируются в порядке их поступления на эхограмме методом яркости модуляции. Таким образом составляется акустико-геологический разрез. Работы осуществляются с движущегося судна, что позволяет составлять непрерывный разрез. При этом удается установить оси и контуры структур, выходы и направления падения пластов, структур, линии тектонических нарушений, проследить рудные тела под водой и т. п.

Возможности отдельных геофизических методов при изучении геологического строения района и поисков месторождений полезных ископаемых определяются главным образом дифференциацией физических свойств пород и полезных ископаемых. Наличие полных сведений о физических свойствах пород и руд наряду со знанием особенностей геологического строения района позволяет обоснованно оценивать общие условия применимости отдельных геофизических методов и выбирать их рациональный комплекс. Применение комплекса геофизических методов позволяет уменьшить, а иногда и целиком исключить неоднозначность геологического истолкования результатов, полученных при использовании отдельных геофизических методов.

Характерные особенности рельефа

Различия физических и химических свойств горных пород и полезных ископаемых наряду с геотектоническими условиями играют важную роль при формировании макро- и микрорельефа. Известно, что при прочих равных условиях положительные формы рельефа создаются ненарушенными, более устойчивыми против выветривания породами, тогда как отрицательные обусловлены менее устойчивыми в поверх-постных условиях породами. Отрицательными формами рельефа характеризуются зоны разрывных тектонических нарушений.

На изучении особенностей рельефа основана аэрофотосъемка, съемка с космических аппаратов и другие дистанционные методы исследования поверхности залежи. Изучение формы микрорельефа может быть использовано при поисках месторождений полезных ископаемых. Например, мощные пегматитовые и кварцевые жилы, залегающие в сланцах или других менее устойчивых горных породах, выделяются в рельефе в виде выступов высотой до нескольких метров. На пыхрах сравнительно легко растворимых полезных ископаемых (изве-гтяки, гипс и др.) наблюдается характерный карстовый рельеф (карстовые воронки). Над залежами сульфидных руд, легко окисляющимися в поверхностных условиях, образуются своеобразные углубления, очертания которых нередко соответствуют границам рудных тел. Выходам угленосной толщи часто отвечают пониженные заболоченные участки района.

Гидрогеологические поисковые признаки

Наиболее эффективно гидрогеологические наблюдения могут быть использованы при поисках месторождений углей и других полезных ископаемых, являющихся водоносными горизонтами. Воды, сопровождающие нефтяные и газовые месторождения, обычно содержат значительное количество иода и брома, а наличие водоносных горизонтов свидетельствует о присутствии в разрезе пористых и водоупорных пород; первые из них могут служить коллекторами нефти или газа, а вторые— экраном. Угольные пласты часто являются водоносными, поэтому наличие водоносных горизонтов в толще угленосных пород косвенно может указывать на присутствие пластов угля. Наличие водоносных горизонтов может помочь обнаружению пластов песков и т. п.

Изучение гидрогеологии района иногда помогает выявить важные геологические закономерности, контролирующие пространственное размещение месторождений. Так, линейное расположение водных источников может указывать на наличие разломов, зон дробления и т. п. Это позволяет выявить структурные поисковые предпосылки, с которыми связаны определенные полезные ископаемые.

Ботанические поисковые признаки

Ботанические поисковые признаки выражаются в том, что над минеральными скоплениями или над их ореолами рассеяния (механическим солевым, гидрохимическим) произрастают определенные виды растений. Как известно, для питания растений кроме основных элементов— углерода, водорода, кислорода, калия, натрия, магния, кальция фосфора, серы — необходимы микроэлементы. Одни из них стимулируют рост растений, другие оказываются вредными и угнетают их. Избыток некоторых элементов в почвах обычно вызывает заметные изменения во внешнем облике растений, ведет к их заболеванию. При этом изменяется окраска листьев, цветов, уменьшаются их общие размеры.

Среди растений выделяют универсальные, локальные и тератологические индикаторы. Универсальные индикаторы представляют собой растения, всегда и везде указывающие на наличие определенных элементов в почвах. Таких индикаторов выявлено пока еще очень немного. К числу их относятся галмейная фиалка (*Viola calaminaria*) и галмейная ярутка (*Thlaspi calaminariutn*), произрастающие над цинковыми рудами. Растения, являющиеся локальными индикаторами, более многочисленны. Они представляют собой обычные широко распространенные растения, которые при определенных условиях могут указывать на особенности пород и почв. Обобщенные сведения по этому вопросу приводят В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина. В чешских Рудных горах седмичник (*Trientalis europeal*) произрастает только на участках, характеризующихся повышенными концентрациями олова. В СНГ это растение широко распространено в лесных районах независимо от концентрации олова. Для Рудного Алтая индикатором меди является кочим (*Gypsophita Patrinii*). Это же растение является индикатором медных и медно-никелевых месторождений Тувы. Для тех же медно-никелевых месторождений является индикатором бурачек двусемянный (*Alyssum biovulatum*).

Тератологические (симптоматические) индикаторы характеризуются следующими признаками.

1. Изменением внешнего вида растений: необычно пышное развитие растений, уродливость, необычная окраска, несвойственная растению форма цветов, листьев и т. п. Так, на полиметаллическом месторождении Аткаыз (Армения) наблюдается изменение формы цветка мака крупнокоробчатого (*Papaver mactostomum*). Вместо четырех лепестков появляется пять — семь, цветы приобретают «махровый» вид. На месторождениях никеля бурачек двусемянный отличается значительно большими размерами — до 60 см в диаметре, тогда как на безрудных площадях диаметр его составляет 5—8 см. Он характеризуется также измененной формой листьев, более крупными плодами. На почвах, богатых битумом, наблюдаются явления гигантизма и уродливости растений. Глубокие изменения вызывает наличие в почвах урана и тория, при этом образуется ряд патологических форм растений — карликовые или гигантские.

2. Отклонениями в режиме развития растений: раннее или позднее цветение, опадание листьев и т. п. Отмечена способность растений, произрастающих на битумсодержащих почвах, к вторичному цветению.

3. Признаками угнетения растений или отсутствием растительности. Над месторождениями бора наряду с патологическими формами наблюдается отсутствие растительности. Растительность отсутствует также над участками, где близко к поверхности расположены богатые сульфидные руды.

На отдельных участках редкометального и полиметаллического оруденения установлены определенные особенности в растительном покрове. Так, на участках вольфрамового, молибденового и полиметаллического оруденения растительный покров значительно разрежен (растениями занято

Б—15% площади); растения низкорослые (5—10 см), генеративные побеги почти отсутствуют. На безрудных участках растительность более обильная (растениями занято 40—60% площади), высота растений 15—20 см, генеративные побеги многочисленны.

Над вольфрамовыми месторождениями произрастают разреженные типчаковые или типчаково-серополынные ассоциации без астрагала.

Над полиметаллическими месторождениями растут разреженные полынно-прутьяковые ассоциации; при повышении свинца в почве растительность сильно разрежается и при содержании его в наносах около 1 % полностью исчезает; при высоком (до 1 %) содержании в почве меди характер растительности резко изменяется — в этих условиях пышно развивается качим Патрэиа.

Ботанические поисковые признаки все еще мало изучены. Дальнейшие исследования в этом направлении в сочетании с фотометрическими и дистанционными (самолетными, космическими) съемками весьма перспективны.

Сведения о возможном наличии полезных ископаемых или о прямых поисковых признаках могут быть получены из опроса местных жителей. Кроме того, необходимо обращать внимание на географические названия гор, рек, населенных пунктов и др., в той или иной степени указывающих на возможность наличия полезных ископаемых например, р. Слюдянка, гора Магнитная, ключ Серебряный, Алтын-Топкан (Золотая гора), Кургос-Кон (свинцовое месторождение), Кан-Сай (рудный овраг), Алун (небесный камень) и др.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ

Важнейшие методы поисков различаются техническими приемами выявления поисковых признаков и в зависимости от этого разделяются на три группы: геолого-минералогические, геофизические и геохимические.

На ранних стадиях изучения недр многие из этих методов в совокупности с методами геологического картирования используются для целей прогнозирования перспектив рудоносности более обширных территорий и выделения потенциальных бассейнов полезных ископаемых рудных районов или узлов.

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Все геолого-минералогические методы поисков являются по своей природе визуальными, поскольку они основаны на выявлении и прослеживании признаков полезных ископаемых невооруженным глазом. Известные с глубокой древности визуальные геолого-минералогические методы поисков не теряют своего значения и в наше время, являясь неотъемлемой частью любого вида геологоразведочных работ.

Эффективность применения визуальных геолого-минералогических методов поисков зависит от наблюдательности, эрудиции и добросовестности геолога. При прочих равных условиях она выше в районах с хорошей обнаженностью пород, достаточно глубоким эрозионным срезом и отчетливыми хорошо фиксируемыми проявлениями признаков полезных ископаемых в коренном залегании и в обломках горных пород.

В число наиболее распространенных визуальных геолого-минералогических поисковых методов входят: наземные и аэровизуальные методы непосредственного обнаружения рудных выходов, валунно-обломочные методы и шлиховые методы. За исключением шлихового метода, все они не имеют самостоятельного поискового значения и используются лишь в комплексе с проведением специализированного геологического картирования или других видов геологоразведочных работ.

1. Наземные визуальные

При проведении геологических маршрутов в условиях хорошей обнаженности пород геологи могут визуально обнаруживать и оконтуривать выходы многих полезных ископаемых по вкрапленности полезных или жильных минералов, характерным околорудным изменениям вмещающих пород, их эпигенетическим изменениям или другим характерным признакам. При некоторых навыках по минеральному составу образований и их текстурно-структурным особенностям можно прогнозировать вероятный состав неизмененных руд и предполагаемые концентрации в них полезных компонентов. В первую очередь это относится к выходам руд устойчивых в

зоне гипергенеза, а также к выходам сульфидных руд. Эффективности наземных визуальных методов поисков способствует устойчивость выходов и их тесная связь с положительными формами рельефа (например, медно-молибденовые месторождения Казахстана, связанные с выходами вторичных кварцитов).

2. Аэровизуальные

Использование аэрофотоснимков помогает в ряде случаев не только расшифровать геологическую структуру, но и выявить признаки рудоносности изучаемой территории. Выявлению поисковых признаков способствуют также прямые аэровизуальные наблюдения или применение цветных, спектро- и многозональных снимков.

К числу легко выявляемых цветовых признаков полезных ископаемых относятся черноокрашенные выходы угольных пластов и окисных руд марганца, красновато-бурые выходы железных руд и ржаво-бурые выходы зон окисления сульфидных месторождений, светлоокрашенные выходы квасцов, алунитов, пегматитовых и кварцевых жил. По характерному лучевому рисунку обнаруживают выходы кимберлитовых трубок. Известны случаи выявления выходов медных и урановых руд по аэровизуальным наблюдениям и цветовым спектрозональным снимкам аридных зон.

На аэрофотоснимках хорошо заметны следы древних разработок, которые могут рассматриваться как весьма важные прямые поисковые признаки месторождений. С применением спектро и многозональных снимков удастся выделять аномальные по цвету массивы и зоны растительности, в которых иногда отражается влияние повышенных концентраций некоторых элементов.

Возможности использования аэровизуальных методов для выявления поисковых признаков рудных полей и месторождений еще далеко не исчерпаны. С развитием техники аэро- и космических дистанционных методов их перспективы будут расширяться.

3. Валунно-обломочные

В практике поисковых работ наиболее широко используются три разновидности валунно-обломочных методов: обломочно-речной, валунно-ледниковый и обломочно-делювиальный.

Обломочно-речной метод состоит в обнаружении и прослеживании рудоносных обломков, галек или валунов, образующих прерывистые потоки в русловых отложениях рек, и в прослеживании их в направлении сноса рудного материала. По мере продвижения вверх по течению реки степень окатанности обломков постепенно уменьшается, а рано или поздно обломки исчезают в аллювиальных отложениях, но обнаруживаются на береговых склонах. Дальнейшие поиски рудных выходов продолжаются уже на склонах долин с учетом форм обломочных делювиальных вееров — с начала визуально, а затем с помощью канав и шурфов. В благоприятных природных условиях этот метод эффективен для поисков самых различных полезных ископаемых, устойчивых против выветривания.

Валунно-ледниковый метод заключается в поисках рудных (рудноносных) валунов на площадях развития моренных ледниковых отложений. Места обнаружения рудных валунов наносятся на карту четвертичных отложений для выяснения контуров ореолов их рассеяния вокруг коренных рудных выходов.

Особое внимание при поисках рудных валунов уделяется нижним горизонтам донных морен, материал которых наиболее близко отражает состав подстилающих пород. Как правило, ореолы рудных валунов имеют веерообразные очертания, расширяющиеся в сторону движения ледника. При достаточно большом числе находок по точкам обнаружения рудных валунов удастся наметить примерные контуры валунного веера, в вершине которого наиболее вероятно расположение коренных рудных выходов (рис. 1).

Валунно-ледниковый метод успешно используется геологами Канады, скандинавских стран и СНГ для поисков месторождений, скрытых под чехлами ледниковых отложений в районах, подвергшихся материковому оледенению. С помощью валунно-ледникового метода обнаружены многие промышленно ценные месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых.

Обломочно-делювиальный метод заключается в поисках рудных свалов, в нижних частях мощных каменных россыпей (курумов), покрывающих склоны возвышенностей в районах развития многолетней мерзлоты. Потоки глыб и щебня, медленно сползающие по склонам гор под влиянием морозного сдвига, солифлюкции и силы тяжести, как правило, лишены растительного покрова и доступны визуальному наблюдению. При обнаружении рудных глыб или щебня поиски направляют вверх по движению каменного потока до выхода в гольцовую часть возвышенности, где вероятнее всего обнаружение коренных выходов. Иногда коренные выходы обнаруживаются с помощью поверхностных горных выработок (расчисток, канав) в верхних частях каменных россыпей.

Обломочно-делювиальный метод успешно применяется в горно-таежных районах в комплексе со специализированными геологическими съемками. С его помощью обнаруживаются коренные выходы многих рудных и нерудных полезных ископаемых, устойчивых в зоне гипергенеза, зоны окварцованных и метасоматически измененных пород.

4. Шлиховые

Сущность методов заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений для выявления и оконтуривания в них механических ореолов и потоков рассеяния полезных минералов.

Шлихами называются концентраты, представляющие мелкую фракцию тяжелых минералов, которые остаются после промывки отбираемых проб. Шлихи могут быть получены и в результате промывки искусственно измельченных горных пород и минеральных образований.

Шлиховой метод издавна применяется для поисков определенной группы полезных минералов, обладающих большой плотностью,

механической прочностью и устойчивостью в поверхностных условиях. К их числу относятся золото, платина (и платиноиды), касситерит, алмаз, вольфрамит, колумбит и танталит, ильменит, рутил, монацит, шеелит и киноварь. Вблизи от коренных выходов месторождений в шлихах могут концентрироваться нестойкие сульфиды (галенит, сфалерит, пирит, халькопирит и т. д.), самородный висмут и ряд других минералов.

Проведение шлиховой съемки включает:

- выбор места взятия шлиховых проб;
- отбор проб;
- обогащение (промывка) проб для получения шлиха;
- составление шлиховых карт и обобщение результатов. Чаще всего

шлиховые съемки проводятся путем опробования аллювиального, реже делювиального и элювиального материала или протолок коренных горных пород.

Аллювиальные отложения опробуются в местах максимального скопления тяжелой фракции минералов, на участках резких замедлений или завихрений течения вод. При опробовании аллювиальных отложений молодой гидросети шлиховые пробы отбираются в русловых участках долин, в тех местах, где русловые отложения выходят на дневную поверхность. Особенно благоприятны участки, расположенные выше уровня вод, на которых обнажаются приплотиковые части разрезов, а также нижние бровки крутых намывных берегов, места заторов или расширений русел рек за выступами крутых берегов, верхние по течению выпуклые части кос (рис. 2).

При опробовании аллювия древней гидросети в плоских, широких долинах рек шлиховые пробы отбираются из пойменных отложений с помощью шурфов или закопущек, из обрывов у днищ оврагов и промоин, из выбросов нор, из-под корней вывороченных деревьев. Русловые отложения древней гидросети не пригодны для целей шлихового опробования, поскольку они представлены хорошо сортированными мелкозернистыми песчано-илистыми осадками, практически не содержащими тяжелой фракции минералов, 5 то время как шлиховые минералы содержатся в несортированных галечниках и песчано-гравийных отложениях с примесью песков и илисто-глинистого материала.

Для отбора шлиховых проб наиболее благоприятны периоды быстрого спада вод после весеннего или летнего половодья. Отбор шлифовых проб производится из закопущек, мелких шурфов или скважин о возможности из нижних участков разреза аллювиальных отложений, расположенных ближе к плотнику, которые обычно обогащены минералами тяжелой фракции. При опробовании древних широких долин шурфы и закопушки располагают по поперечным профилям на всю ширину поймы, с расстояниями между смежными закопушками на профилях, в несколько десятков раз меньшими по сравнению с расстояниями между профилями. Массы отбираемых проб (от нескольких десятков до ста и более килограммов) фиксируются при их

отборе. Они зависят от гранулометрического состава опробуемых отложений, вида и состава полезных минералов.

Отобранные пробы подвергаются обогащению путем их промывки в лотках, ковшах, бутарах, вашгердах и на винтовых сепараторах. В процессе промывки из проб отбираются гальки и валуны, путем отмучивания вымываются глинистые частицы, а затем отмывается и легкая песчаная фракция.

В полевых условиях проба отмывается только до серого шлиха, а доводка проб до черного шлиха осуществляется обычно в стационарных условиях.

Особую сложность представляет отмывка шлиховых проб при поисках алмазных месторождений, поскольку алмаз и минерал — индикатор алмаза — пироп обладают сравнительно невысокой плотностью (около $3,5 \text{ г/см}^3$) и легко уходят в хвосты. В связи с этим непосредственно на месте работ проводятся контрольные промывки хвостов и просмотры шлихов с подсчетами видимых зерен пироба.

Анализы проб с качественным и количественным определением составляющих их минералов осуществляются в полевых и стационарных шлиховых лабораториях. Доведенные до состояния черного шлиха пробы взвешиваются, разделяются по крупности зерен, а минералы мелкой фракции подвергаются последовательно магнитной, электромагнитной и гравитационной сепарации в тяжелых жидкостях, по схеме, приведенной на рис. 5.

Материал каждой выделенной фракции изучается под бинокулярной лупой с разделением минералов по видам. Некоторые минералы удается выделить по характеру *люминесценции*, *радиоактивности* или с применением других методов диагностики.

В результате качественного и количественного анализа шлихов не только определяется принадлежность минералов к определенному виду, но и подробно описывается их кристаллографическая характеристика, наличие сростков с другими минералами, степень окатанности зерен, изучаются ассоциации и химический состав минералов.

Результаты проведения шлиховых поисков оформляются в виде шлиховых карт с кружками или изолиниями содержаний полезных минералов, линиями изменяющейся толщины, в зависимости от содержаний минерала в шлихе и т.д.

Шлиховая съемка является одним из самых древних методов поисков, однако она не утратила своего значения и в настоящее время. В свете современных требований необходимо коренное усовершенствование шлихового метода поисков, как в отношении технических средств пробоотбора и обогащения проб, так и в части изучения типоморфизма шлиховых минералов и их ассоциаций с широким использованием современных методов минералогического анализа.

В настоящее время шлиховой анализ должен не только фиксировать минеральный состав проб и количество содержащихся в них полезных минералов, но и содержать информацию о вероятных формационных типах месторождений областей сноса рудных минералов.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Геофизические методы поисков полезных ископаемых применяются для выявления и оконтуривания аномальных физических полей, выделения и оценки локальных аномалий, связанных с конкретными видами полезных ископаемых.

С каждым годом они получают все более широкое развитие и разностороннее применение. Их роль особенно велика в условиях плохой обнаженности пород и при поисках таких видов полезных ископаемых, физические свойства которых заметно отличаются от свойств вмещающих их пород. Однако в большинстве случаев геофизические исследования, выполняемые каким-либо одним методом или комплексом методов, имеют не прямое, а вспомогательное поисковое значение, способствуя лишь созданию геолого-структурной основы поисков, выявлению и оконтуриванию элементов геологического строения, контролирующего пространственное размещение полезных ископаемых.

Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых составляют содержание специальных курсов, в которых подробно рассматриваются физические основы, технические средства, условия применения каждого метода, приемы обработки и интерпретации наблюдений. О возможности использования *геофизических методов при* создании геологической основы поисков упоминается в предыдущей главе. Ниже кратко рассматриваются возможности применения геофизических методов для непосредственного выявления и оценки полезных ископаемых, обладающих достаточно контрастными физическими свойствами. К числу прямых геофизических методов относятся магнитометрические, электроразведочные, радиометрические, ядерно-физические и в меньшей степени — гравиметрические методы.

1. Магнитометрические

В качестве прямого поискового метода магнитометрическая съемка используется в воздушном, наземном и скважинном вариантах для выявления и оценки месторождений, руды которых обладают высокой магнитной восприимчивостью. За последние четверть века все крупные месторождения магнетитовых руд в нашей стране выявлены аэромагнитной или наземной магнитной съемкой. С помощью этих съемок выявляются и оконтуриваются аномальные магнитные поля, детализируются и оцениваются их аномальные участки, зоны и локальные аномалии.

В благоприятных условиях магнитометрические методы могут использоваться для оконтуривания и детализации магнитных полей некоторых медно-никелевых, хромитовых и слабомагнитных железорудных

месторождений, выявления и оконтуривания россыпных и коренных титаномагнетитовых месторождений. При особо благоприятных условиях, в комплексе с другими методами — для поисков бокситов и некоторых золотых и платиновых россыпей, в которых в заметных количествах присутствует магнетит. Во всех перечисленных случаях применение магнитных съемок эффективно, если объекты поисков расположены в разрезах слабомагнитных пород.

2. Электроразведочные

Различные модификации электроразведки успешно применяются в качестве прямых поисковых методов для выявления сплошных и вкрапленных сульфидных и оловянных месторождений, некоторых типов углей и месторождений графита. Большое число модификаций электроразведочных методов связано с использованием широкого диапазона частот, естественных и искусственных источников тока.

Прямые поиски сульфидных месторождений с контрастными электрическими свойствами возможны методами изучения, как естественных, так и наведенных электромагнитных полей. Методы индуктивной разведки, основанные на выявлении и оконтуривании стационарных электрических полей (метод естественного поля) или индуктивно возбуждаемых неустановившихся полей (метод переходных процессов), применяются при поисках колчеданных, медноколчеданных, полиметаллических и графитовых месторождений, с залежами практически сплошного строения.

Для поисков вкрапленного сульфидного оруденения эффективно используется метод вызванной поляризации, основанный на изучении разностей потенциалов, возникающих под влиянием длительных импульсов постоянного или переменного тока. Прослеживание глубокозалегающих медноколчеданных тел возможно с применением метода вертикального электрического зондирования, а высокоомных золото-кварцевых жил — с помощью высокочастотных методов (радиокип). Для проведения поисковых работ в настоящее время созданы различные электроразведочные станции, позволяющие проводить наблюдения в скважинном, пешеходном, автомобильном и аэровоздушном вариантах.

3. Радиометрические

Радиометрические методы поисков месторождений радиоактивных руд, фосфоритовых, танталовых, ниобиевых, редкоземельных и других месторождений, содержащих постоянные примеси радиоактивных металлов, основаны на выявлении и оконтуривании радиационных полей, участков, зон и локальных аномалий в приземном слое атмосферы, на земной поверхности или в буровых скважинах, а также радиоактивных газов — в подпочвенном слое или трещинах горных пород.

Глубинность проникновения гамма-лучей в горных породах и перекрывающих рыхлых отложениях не превышает одного метра. Однако за

счет развития в них вторичных ореолов рассеяния радиоактивных элементов она часто оказывается значительно большей, достигая 10 м и более.

Сущность всех разновидностей гамма-методов сводится к измерению суммарного (интегрального) радиоактивного гамма-излучения или к дифференциальной его регистрации в определенных интервалах энергии частиц с последующим выделением участков повышенной радиоактивности.

По условиям применения радиометрические методы подразделяются на:

- аэрометрические;
- наземные (автомобильные и пешеходные);
- глубинные (в шпурах и скважинах).

Аэрометрические методы являются наиболее

совершенными и скоростными методами поисков месторождений радиоактивных и связанных с ними металлов. Они основаны на выявлении в приземном слое атмосферы радиационных гамма-ореолов урана (радия), тория и калия с помощью высокочувствительных радиометров-анализаторов, которые монтируются на самолетах или вертолетах. Аэропоиски проводятся в масштабе 1:25 000, маршрутами длиной до 30 км через каждые 250 м.

Обработка материалов аэрогамма-спектрометрических (АСГМ) наблюдений проводится с использованием ЭВМ и графопостроителей.

Наиболее широким распространением пользуются площадные автогамма-съемки масштаба 1:10 000, которыми покрываются перспективные площади порядка десятков квадратных километров.

Пешеходные гамма-съемки и наземные гамма-спектрометрические наблюдения являются основными видами наземных поисков радиоактивных руд и рудопоявлений.

Широкая их распространенность объясняется универсальностью применения, высокой результативностью, низкой себестоимостью и возможностями тесной взаимосвязи радиометрических и геологических наблюдений. Проведение пешеходных гамма-наблюдений с помощью портативных полевых сцинтилляционных радиометров СРП-2 «Кристалл» и СРП-68-01, считается обязательным в процессе любых геологосъемочных и поисковых работ.

Наземные гамма-спектрометрические наблюдения применяются для оценки выявленных аномалий и выделения перспективных площадей. Они основаны на различиях спектрального состава гамма-излучения радия, тория и радиоактивного калия и проводятся портативными радиометрами-анализаторами типа СП-3М.

Эманиационные методы поисков основаны на выявлении ореолов радиоактивных эманиции в почвенном воздухе или в трещинах горных пород. Сущность эманиационных поисков заключается в отборе проб почвенного воздуха из рыхлых отложений и измерении концентрации в них радона и торона.

Эманиационные поиски выполняются с помощью сцинтилляционных полевых эманометров или эманиационно-трековым методом, основанным на подсчетах числа альфа-треков (следов, фиксирующих пути пробега альфа-частиц) на специальных диэлектрических пленках.

4. Ядерно-физические

Ядерно-физические методы поисков полезных ископаемых основаны на регистрации наведенных гамма- и нейтронных полей, возникающих при возбуждении атомов различных элементов под влиянием искусственных источников ионизации. К настоящему времени создано несколько десятков модификаций ядерно-физических методов изучения состава горных пород и содержащихся в них полезных компонентов, однако большинство из них реализованы в виде стационарных лабораторных установок для ядерно-физического анализа проб. Для целей поисков полезных ископаемых используются портативные полевые приборы, аппаратура смонтированная на автомашинах и ядерно-физические каротажные станции.

Наиболее широким распространением пользуются рентген-радиометрические, нейтронно-активационные, фотонейтронные методы и метод ядерного гамма-резонанса. Рентген-радиометрические методы в портативном полевом автомобильном и скважинном вариантах используются для поисков месторождений тяжелых металлов свинца, цинка, молибдена, сурьмы, ртути, висмута и некоторых других тяжелых элементов в рудах сложного состава.

Нейтронно-активационные методы в тех же вариантах используются при поисках флюоритовых, медных, бокситовых, марганцевых и некоторых других месторождений, а фотонейтронные методы — для поисков и оценки бериллиевых месторождений.

С помощью прибора МАК-1, фиксирующего процессы ядерного гамма-резонанса, возможны полевые экспресс-анализы на олово.

В связи с экспрессностью анализов и возможностью разового определения большого числа элементов ядерно-физическим методам поисков принадлежит большое будущее. В перспективе, когда повысится избирательность анализов, усовершенствуются конструкции приборов, а их разрешающая способность позволит оценивать даже незначительные содержания элементов в породах, ядерно-физические методы приобретут значение ведущих поисковых методов.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Геохимические методы поисков полезных ископаемых основаны на выявлении, оконтуривании и оценке потоков локальных ареалов ореолов рассеяния элементов-индикаторов оруденения и элементов-спутников в коренных породах, рыхлых отложениях различного генезиса, природных водах, растениях и газах. В зависимости от этого различают:

- литохимические;
- гидрохимические;

- биохимические;
- атмосферические методы поисков.

Наибольшей универсальностью и распространением пользуются литохимические методы поисков. В зависимости от природных условий, целей и задач литохимические поиски проводятся по первичным (эндогенным), вторичным (гипергенным) ореолам или по потокам рассеяния элементов-индикаторов оруденения. Остальные геохимические методы имеют явно подчиненное значение.

Все геохимические методы сводятся к опробованию объектов исследования по выбранной сети, анализ проб на главные и сопутствующие элементы, обработке исходных данных и их интерпретации для оценки перспективности выявляемых аномальных площадей, зон и локальных аномалий.

1. Литохимические методы поисков по первичным (эндогенным) ореолам

Поиски по первичным ореолам заключаются в выявлении повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения и их спутников в коренных рудовмещающих породах и в изучении закономерностей их пространственного размещения по данным геохимического опробования обнажений, поверхностных или подземных горных выработок и скважин.

Отбор проб производится по линиям, ориентированным вкрест простирания рудовмещающих структур, чаще всего способом «пунктирной борозды». Обычно длины интервалов составляют 5 м.

Густота наблюдений зависит от детальности поисковых работ и, как правило, определяется геометрией поисковой сети.

Определение содержаний большинства элементов-индикаторов оруденения молибдена, свинца, цинка, меди, ванадия, никеля, кобальта, мышьяка, серебра, бериллия, циркония, ниобия и др. выполняются методами приближенно-количественного спектрального анализа, чаще всего по способу просыпки. Для оценки содержаний урана, лития, тантала, рутиния, цезия, фтора, ртути и золота необходимо применение специальных методов анализов, поскольку приближенно-количественный метод не обеспечивает в этих условиях удовлетворительных результатов. Валовые количества многих элементов-индикаторов могут быть установлены рентгеноспектральными анализами или более чувствительными нейтронно-активационными методами.

Выявление и оконтуривание первичных ореолов производится по результатам анализов геохимических проб по общепринятой методике, основанной на сравнении геохимических параметров изучаемых участков с параметрами фонового распределения элементов. За величину «фоновой» содержания обычно принимается среднее арифметическое содержание из всей выборки проб, расположенных в пределах данной петрографической (литологической) разновидности неизмененных вмещающих пород.

Оконтуривание первичных ореолов элементов-индикаторов и их спутников производится на планах и в разрезах по значениям минимально аномальных содержаний. Установлено, что для большинства месторождений убывание концентраций рудных элементов по мере удаления от рудных скоплений происходит по экспоненциальному закону. Поэтому графики их размещения вокруг рудных тел, построенные в полулогарифмической системе координат близки к прямым линиям (рис. 4). Однако эта закономерность вуалируется неравномерным характером распределения рудных элементов в ореолах и выявляется только после соответствующего сглаживания (рис. 3).

Из графиков на рис. 12-13.4 следует, что ширина ореола прямо пропорциональна логарифму концентрации элемента в рудном теле и находится в обратной зависимости от величины его минимального аномального содержания в ореоле и угла α , образованного линией графика с осью абсцисс. Значение тангенса угла α принято называть градиентом концентрации элемента в поперечном сечении первичного ореола.

А. П. Соловов предложил использовать для количественной характеристики миграционной способности элемента.

При проведении литохимических поисков в условиях слабой проявленности ореолов необходимо нейтрализовать заметное влияние фоновых содержаний элементов путем применения более чувствительных методов количественного анализа, использования анализов тяжелых фракций геохимических проб, использования рациональных (фазовых) анализов для тех элементов, форма нахождения которых во вмещающих породах и в ореолах рассеяния различна, суммирования или перемножения содержаний групп элементов, сходных по условиям их пространственного размещения, с последующим построением соответствующих аддитивных или мультипликативных ореолов.

Построение аддитивных ореолов производится путем сложения содержаний элементов-индикаторов, нормированных по их средне-фоновым содержаниям. По сравнению с моноэлементными аддитивные ореолы обладают большими размерами, контрастностью и проявляют более тесные связи с рудоконтролирующими элементами геологического строения продуктивных залежей, зон и месторождений, поскольку влияние многочисленных случайных погрешностей при сложении содержаний нивелируется. Мультипликативные ореолы получаются путем перемножения содержаний элементов-индикаторов в каждой пробе, причем необходимость их предварительного нормирования по фоновым содержаниям отпадает. Контрастность мультипликативных ореолов проявляется еще более резко (рис. 6).

Для целей интерпретации результатов поисков по первичным ореолам первостепенное значение имеет выявление зональности их строения, обусловленной закономерным пространственным размещением элементов-индикаторов.

Осевая (вертикальная) зональность может быть проиллюстрирована графиками изменения средних содержаний элементов с глубиной или графиками изменения линейных продуктивностей ореолов (произведений ширины ореола на среднее содержание элемента на данном горизонте). Для количественной характеристики осевой зональности используется коэффициент контрастности, представляющий собой отношение содержаний элемента-индикатора и линейных продуктивностей ореола в его надрудной и подрудной частях.

Если изменения продуктивностей ореолов по вертикали не отличаются монотонностью, рекомендуется рассчитывать показатели зональности элементов-индикаторов как отношения продуктивностей ореолов всех остальных элементов-индикаторов, нормированных по их среднефоновым содержаниям. Показатель зональности количественно отражает в относительных единицах, интенсивность накопления элемента на каждом из оцениваемых горизонтов. Таким образом, знание осевой зональности ореолов позволяет отличать надрудные их части от подрудных, оценивать уровни эрозионных срезов ореолов и прогнозировать вероятные глубины их распространения, а при благоприятных уровнях эрозионных срезов — выявлять слепые рудные зоны и залежи.

Наряду с зональностью ореолов, развитых вокруг каждой из групп рудных скоплений, существует зональность рудных зон и месторождения в целом, которая проявляется большей интенсивностью ореолов надрудных элементов в верхних частях образований каждого структурного уровня.

2. Литохимические методы поисков по вторичным (остаточным) ореолам

Поиски по вторичным ореолам заключаются в выявлении и оценке локальных и узколокальных ареалов повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения и их спутников в рыхлых элювиальных и элювиально-делювиальных отложениях, реже в рыхлых отложениях других генетических типов по данным выборочного геохимического опробования. Как правило, они проводятся по открытым или ослабленным (реже погребенным) остаточным ореолам. Поиски месторождений по наложенным ореолам в дальнеприносных отложениях не эффективны.

Поиски рудных полей и месторождений по ореолам рассеяния элементов-индикаторов и их спутников в корах выветривания, элювиально-делювиальных отложениях или в почвах проводятся, соответственно, в масштабах 1:50 000—1:10 000. Опробованию подвергается мелкая песчано-глинистая фракция рыхлых отложений. Эффективность поисков в значительной степени определяется правильностью выбора представительного горизонта отбора проб и их фракционным составом, поскольку от этого зависит достоверность получаемой информации о распределении элементов-индикаторов в опробуемых рыхлых отложениях. Поэтому широкому применению метода обычно предшествуют опытно-методические работы по выявлению специфических особенностей ореолов

рассеяния элементов-индикаторов прогнозируемого оруденения в данных ландшафтных условиях. Этими работами устанавливаются:

- характер развития вторичных ореолов по вертикали с выявлением оптимальных глубин представительных горизонтов в рыхлых отложениях различных типов;
- распределение элементов-индикаторов оруденения по фракциям ситового анализа проб;
- значения местных фоновых и аномальных концентраций элементов-индикаторов оруденения и их спутников;
- морфологические особенности и элементы зональности вторичных ореолов.

Массы отбираемых проб в зависимости от фракционного состава рыхлых отложений могут изменяться в пределах от 50 до 200 г. Отбор проб производится с помощью специальных пробоотборников или из мелких закопашек.

Глубины представительных горизонтов зависят от объектов поисков, генетических типов рыхлых отложений и от ландшафтно-географических условий изучаемого района. В пустынных, полупустынных и степных зонах с сухим климатом и щелочной реакцией почв оптимальные глубины отбора проб составляют 0,1 — 0,2 м. В лесных заболоченных и горно-таежных районах с кислыми подзолистыми почвами глубины залегания представительных горизонтов достигают 0,5—1,5 м; в тропических или субтропических условиях, а также при опробовании кор выветривания (структурного элювия) коренных пород они могут достигать 3—5 м и более.

Для отбора проб из погребенных ореолов проходятся специальные скважины агрегатами шнекового бурения и другими техническими средствами.

Металлометрические съемки выполняются обычно по системам профилей, ориентированных вкрест простирания рудоносных структур. Расстояние между профилями принимается равным не более 0,9 предполагаемой средней длины ареала или ореола, а расстояния между точками отбора проб по профилям не более половины их предполагаемой средней ширины. В зависимости от масштабов литохимических поисков рекомендуется следующая примерная плотность сетей геохимического опробования (табл. 1):

Первичная обработка проб заключается в их регистрации, суше и ситовом анализе для выявления одной или нескольких, подлежащих анализу фракций. Выделенные фракции истираются до состояния пудры (150—200 меш) и подвергаются полуколичественному спектральному, ядерно-физическому или другим видам анализов на содержание элементов-индикаторов оруденения и элементов-спутников.

Геохимические карты вторичных ореолов элементов-индикаторов и их спутников составляются в масштабах геологической основы. Концентрации элементов-индикаторов выражаются в изолиниях, а оконтуривание ореолов

производится по минимально аномальным содержаниям, часто для различных уровней значимости, стандартного отклонения логарифмов содержаний.

3. Литохимические методы поисков по потокам рассеяния в донных осадках

Поиски по потокам рассеяния эффективны только для тех элементов-индикаторов и спутников оруденения, которые обладают хорошей миграционной способностью в поверхностной водной* среде. К ним, в первую очередь, относятся цинк, медь, свинец, молибден и уран, в меньшей степени, никель, сурьма и мышьяк. Потоки рассеяния элементов донных осадков постоянно и временно действующих водотоков могут рассматриваться как внешние зоны их вторичных ореолов, примыкающие к ним своими головными частями.

Полевые работы заключаются в отборе проб илистых русловых отложений или песчано-глинистых фракций аллювиальных и пролювиальных отложений, часто обогащенных органическим веществом. При отсутствии подобного материала в русловых отложениях опробуются пойменные образования и верхние кромки заболоченных речных долин рыхлых илисто-глинистых отложений временных водотоков, а при слабо развитой гидросети — сходные по составу рыхлые отложения нижних частей склонов долин.

Пробы массой 50—100 г отбираются непосредственно с поверхности или с глубины 15—20 см. Густота маршрутов и длина шага опробования зависят от масштабов съемок и степени разветвленности гидросети. При мелкомасштабных съемках длина шага опробования составляет 300—500 м, а с укрупнением масштабов уменьшается до 100—200 м. Обобщение международного опыта проведения съемок донных осадков свидетельствует о том, что при плотности опробования 1 проба на 1 км² обеспечивается выявление всех потоков рассеяния, связанных с рудными полями месторождений крупного и среднего масштабов.

Анализы проб производятся полуколичественным спектральным методом, а на содержание подвижного урана — количественным перлюминесцентным методом. Состав элементов-индикаторов оруденения в потоках рассеяния зависит от состава первичных руд и ореолов, а также от особенностей их гипергенной миграции в различных ландшафтно-геохимических обстановках. Наибольшей протяженностью в условиях гумидной зоны отличаются потоки рассеяния меди, молибдена и цинка, легко мигрирующие в формах истинных или коллоидных растворов.

Обработка материалов съемок донных осадков заключается в составлении сводной карты, оценке величины геохимического фона и выделении аномальных участков. Для оценок их перспективности производятся детализационные работы путем сгущения шага опробования при дополнительном опробовании всех водотоков (а если необходимо, то и нижних частей склонов) в пределах аномальных площадей. Для выделения

слабых аномалий и отделения их от фоновых содержаний учитывается наличие органического вещества в пробах.

Использование съемок донных осадков наиболее эффективно при специализированном картировании масштаба 1:200 000 для целей прогноза потенциальных рудных узлов и при поисковых работах масштаба 1:50 000 — для поисков рудных полей.

4. Гидрохимические

Поиски по водным ореолам рассеяния основаны на выявлении в природных водах ореолов повышенных концентраций комплексов элементов-индикаторов оруденения и их спутников, хорошо мигрирующих в водной среде в условиях зоны гипергенеза. К их числу относятся медь, цинк, свинец, никель, кобальт, молибден, мышьяк, сурьма, литий, уран, радий, щелочные и щелочноземельные металлы, йод и бром.

Сущность метода состоит в отборе проб поверхностных, грунтовых или подземных вод, анализах этих проб на содержания элементов-индикаторов и элементов-спутников оруденения для выяснения закономерностей пространственного размещения их водных ореолов. Наличие аномальных концентраций элементов-индикаторов оруденения в природных водах свидетельствует в определенных условиях о наличии повышенных концентраций этих элементов в коренных породах или в перекрывающих их рыхлых отложениях.

Гидрохимические методы относятся к числу наиболее глубинных методов выявления повышенных концентраций элементов в коренных породах. В условиях расчлененного рельефа по выходам источников с аномальными концентрациями элементов можно обнаружить рудные скопления на глубинах до нескольких сотен метров, а в предгорных районах — до нескольких десятков метров от дневной поверхности.

Пробы воды отбираются более или менее равномерно со всей территории исследуемого района. Число точек отбора проб зависит от масштаба гидрохимических съемок, сложности строения и во-дообильности района. При съемках масштаба 1 : 200 000 одна проба отбирается в среднем на 4—10 км² (при опробовании открытых водотоков через 300—500 м). С укрупнением масштаба работ до 1:50 000 одна проба приходится в среднем на 1 км², а при опробовании открытых водотоков — через 100—200 м. Отбор проб производится из родников, ключей, колодцев, минеральных источников, малых рек и ручьев, скважин и горных выработок. Наиболее эффективно опробование источников, вытекающих из коренных пород, а также напорных и газифицирующих источников среди рыхлых отложений.

При отборе проб каждый водопункт нумеруется, наносится на карту и описывается. В описании отмечаются тип водопункта, время отбора проб, условия выхода вод, их дебит, физические свойства, состав вмещающих или рыхлых отложений, новообразования на выходе источника (травертины, охры, грязи и др.). Из каждого водопункта отбираются пробы воды на

содержание в них элементов-индикаторов оруденения и на определение общей минерализации вод (по массе сухого остатка) с соблюдением правил.

Обработка гидрохимических проб заключается в выпаривании воды и осаждении содержащихся в ней химических элементов различными реагентами. Анализы вод на широкий спектр элементов проводятся в полевых и лабораторных условиях полуколичественным методом сухих остатков. Анализы быстро изменяющихся компонентов (pH, Eh, Fe^{2+} , Fe^{3+} , CO_2 , O_2 , H_2) выполняются, как правило, на местах отбора проб в полевых лабораториях, с помощью потенциометров и другой специализированной аппаратуры. Для замеров значений Eh непосредственно в скважинах используются специальные каротажные зонды.

Проведение гидрохимических съемок наиболее эффективно в горно-складчатых районах, для которых характерны большие мощности зон свободного водообмена, слабая минерализация и высокий окислительный потенциал вод, что способствует выявлению гидрохимических аномалий на глубинах до нескольких сотен метров от дневной поверхности. Хорошие результаты обеспечивают применение гидрохимических методов в гористых лесных, лесостепных и горно-таежных ландшафтах без долготей мерзлоты.

В степных, полупустынных и пустынных ландшафтах возможности использования гидрохимических методов ограничиваются дефицитом вод, а наилучшее время для проведения съемок приходится на весенние месяцы.

Результаты гидрохимических наблюдений и анализов вод наносятся на карты и разрезы для составления специализированных карт и геометризации ореолов повышенных концентраций элементов-индикаторов и элементов-спутников оруденения в подземных водах.

Совместное нахождение в водах аномальных концентраций урана, радия и радона указывает на близость урановорудных концентраций. Вблизи сульфидных месторождений в водах резко возрастает содержание не только молибдена, цинка, свинца, меди, мышьяка и др., но и сульфат-иона, без существенного повышения концентраций гидрокарбонатного иона и хлора. Вокруг рудных месторождений обычно наблюдается зональность водных ореолов, сходная с зональностью связанных с ними сорбционно-солевых ореолов в рыхлых отложениях или коренных породах. Как правило, в околорудной зоне наблюдаются повышенные концентрации в водах бериллия, кобальта, висмута, свинца, золота, в промежуточной зоне — меди, молибдена и сурьмы, а во внешней зоне — цинка, серебра, фтора, бора и йода. Место каждого элемента в ряду зональности определяется устойчивостью его основной формы миграции в данном диапазоне pH — Eh ореольных вод, а также составом и концентрацией самого сильного лиганда-ком-плексообразователя. Поэтому наименьшее постоянство в рядах зональности свойственно элементам с переменной валентностью (U, As, Mo, Au и др.).

Основным показателем перспективности водных ореолов служит тенденция увеличения комплексности их состава по мере приближения к рудным скоплениям. Однако гидрохимическая зональность водных ореолов обычно отличается сложностью вследствие неоднородности состава вмещающих пород, различий гидродинамического режима вод разных глубин, влияния зон тектонических нарушений и других геологических факторов, что существенно осложняет интерпретацию и оценку гидрохимических аномалий.

5. Биохимические

Биохимические методы поисков основаны на выявлении и оконтуривании локальных ареалов и ореолов повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения в растениях. Поиски сводятся к отбору проб живой массы травянистых, кустарниковых или древесных растений, произрастающих в пределах изучаемых площадей, сжиганию (озолению) этих проб и определению концентраций элементов в золе растений. По результатам анализов проб выявляются особенности пространственного размещения участков повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения на опробованных площадях.

В одну пробу отбирается живая масса растений с площади в несколько квадратных метров. Исходные массы проб зависят от необходимого для анализа выхода золы (от десятков до сотен граммов). Преимущество отдается растениям с глубоко проникающими корневыми системами, близкого физиологического состояния и возраста. Для опробования следует использовать «безбарьерные» виды и органы растений, которые концентрируют элементы пропорционально их содержанию в почвах. У древесных растений (сосны, лиственницы, осины и др.) лучше всего опробовать верхний пробковый слой коры (без живой коры и луба), который является безбарьерным органом по отношению к урану, свинцу, цинку, бериллию, фтору, литию, цирконию и ряду других элементов. Для опробования на радий пригодны любые виды растений, лучше всего многолетние. При выборе видов растений с относительно высокими концентрациями элементов-индикаторов оруденения для введения поправок на вид растения они предварительно группируются по относительному содержанию элементов в различных видах.

Перед проведением биохимической съемки необходимо провести районирование территории по природным условиям ведения поисковых работ для выделения площадей, на которых целесообразна постановка этого вида исследований. К ним относятся площади, перекрытые чехлом дальнеприносных отложений мощностью 2 м и более, на которых проведение литохимических съемок малоэффективно.

Глубинность биохимического метода выше, чем глубинность большинства других поверхностных поисковых методов. Максимальная мощность дальнеприносных рыхлых отложений, ограничивающая возможность метода в степных и пустынных районах, составляет 20—50 м, в

лесных районах гумидной зоны 10—30 м, а в районах с многолетней мерзлотой не превышает 3—10 м. Однако сложности интерпретации биохимических аномалий, связанные с необходимостью учета влияния многочисленных биологических факторов на концентрации металлов в золах растений, заметно снижают достоверность результатов.

Результаты биохимических съемок оформляются в виде карт и разрезов с геометризацией моноэлементных ореолов на геологической и ландшафтно-географической основе, а также в виде схем индикаторных отношений между элементами-индикаторами оруденения.

6. Атмохимические

Атмохимические методы поисков основаны на выявлении и оконтуривании вторичных ореолов и полей повышенных концентраций углекислого газа, метана, сероводорода, сернистого газа, водорода, углеводородов, паров ртути и некоторых других газов в подпочвенном воздухе, как поисковых признаков месторождений различных полезных ископаемых. Наиболее полно в геологоразведочной практике разработаны методы прямых поисков нефтяных и газовых залежей по углеводородным газам и методы поисков сульфидных (в том числе ртутных) месторождений по газовым ореолам паров ртути, углекислого и сернистого газов.

Сущность газовых съемок заключается в отборе проб почвенного воздуха с помощью трубчатых пробоотборников или в виде газокерновых проб с последующим их анализом на содержание перечисленных выше газов. Пробы отбираются из скважин диаметром 43—65 мм с глубин около 1,5 м. Бурение мелких скважин осуществляется мотобурами. Быстрое определение сернистого и углекислого газов и суммы углеводородов производится непосредственно на точках наблюдения с помощью переносных газоанализаторов, а содержание паров ртути — с помощью смонтированного на автомашине атомно-абсорбционного газоанализатора или газокolorиметрическим методом.

Наиболее рационально проводить газовые съемки в масштабе 1:50 000 по профилям через 500 м с отбором проб через каждые 100 м.

Преимуществом атмохимических съемок является их высокая производительность и оперативность, особенно с применением полу- или автоматической аналитической аппаратуры, смонтированной на автомашинах, вертолетах или самолетах. По данным М. А. Карасика и С. И. Кирикилици при поисках скрытого эндогенного оруденения, помимо уже известных, широко используемых атмохимических индикаторов (ртути, гелия, водорода, углекислого газа и метана) в качестве вспомогательных индикаторов используются кислород, азот, аргон, радон, сероводород и сернистый газ. Теоретически обоснована и отчасти экспериментально доказана возможность использования в качестве атмохимических индикаторов (по свойствам, определяющим их газовую или конденсатную схемы диссоциации) фтора, йода, мышьяка и сурьмы, в меньшей степени — брома, хлора и торона.

ПРИЛОЖЕНИЕ

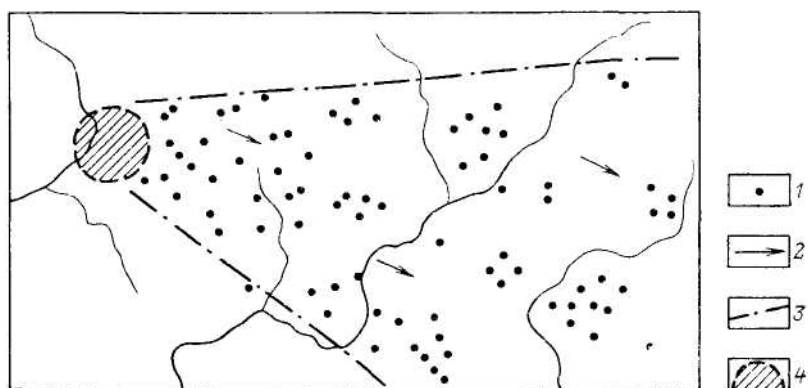


Рис.1 Схема валунно-ледникового веера.

1—рудные валуны; 2 — направление ледниковых штрихов; 3 — примерные границы веера; 4 — участок для поисков коренных рудных выходов

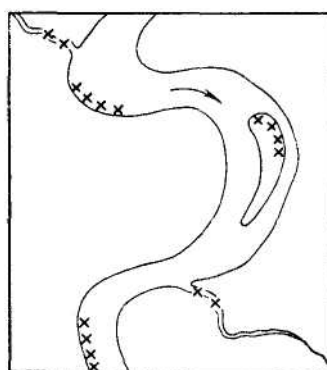


Рис. 2. Схема участков, наиболее благоприятных для отбора шлиховых проб (показаны крестиками)

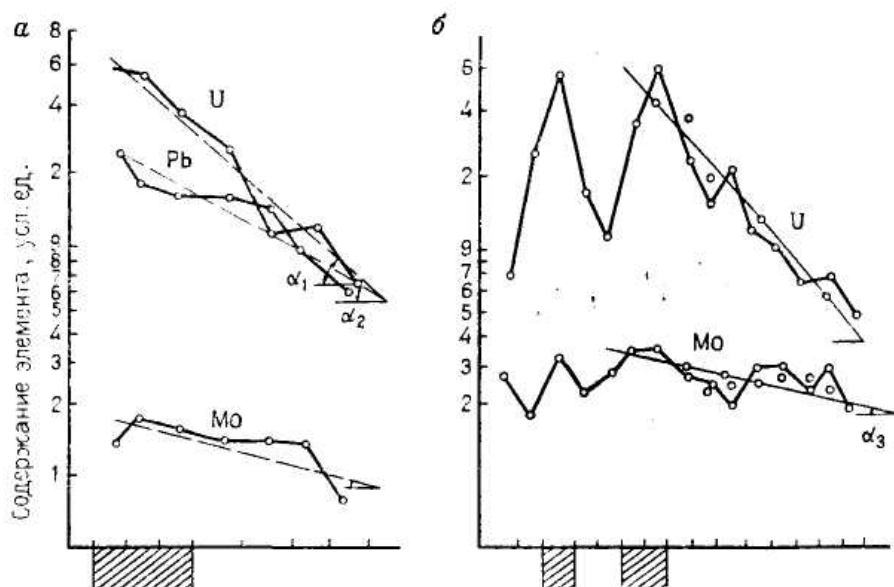


Рис. 3 Эмпирические и сглаженные графики распределения содержания элементов вокруг одного (а) и двух сближенных (б) рудных тел.

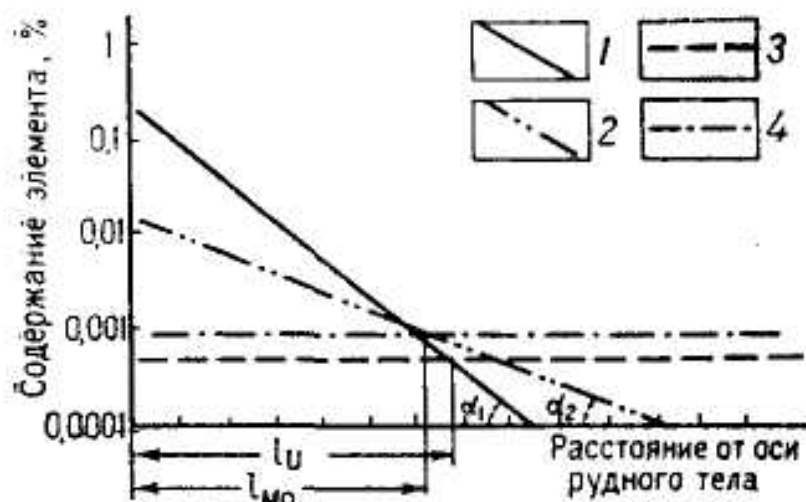


Рис. 4. Графики распределения содержания урана и молибдена вокруг рудного тела. 1— уран; 2 — молибден; 3—4 — минимальные аномальные содержания урана (3) и молибдена (4) в ореоле, α_1 , α_2 — углы, определяющие градиенты концентраций урана и молибдена в ореоле; l — половина ширины эндогенных ореолов урана (l_U) и молибдена (l_{Mo})

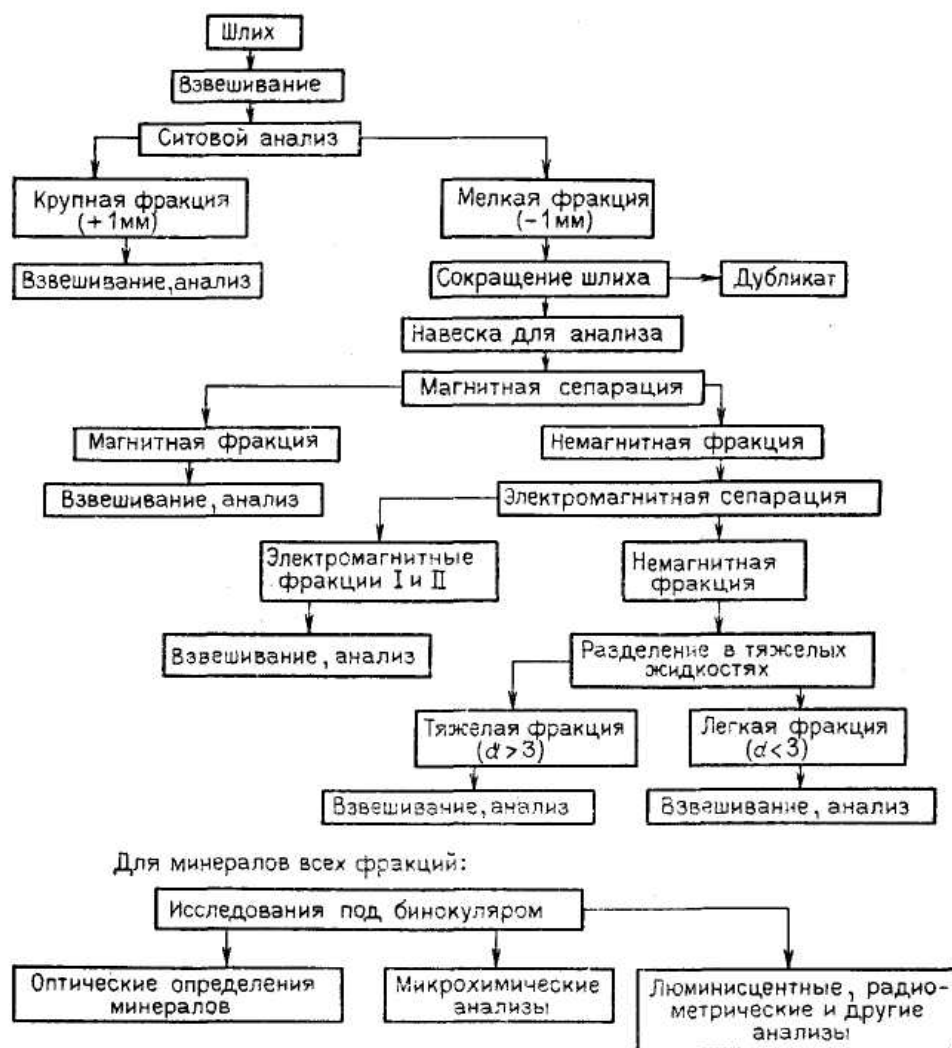


Рис. 5 Схема лабораторного изучения шлиха

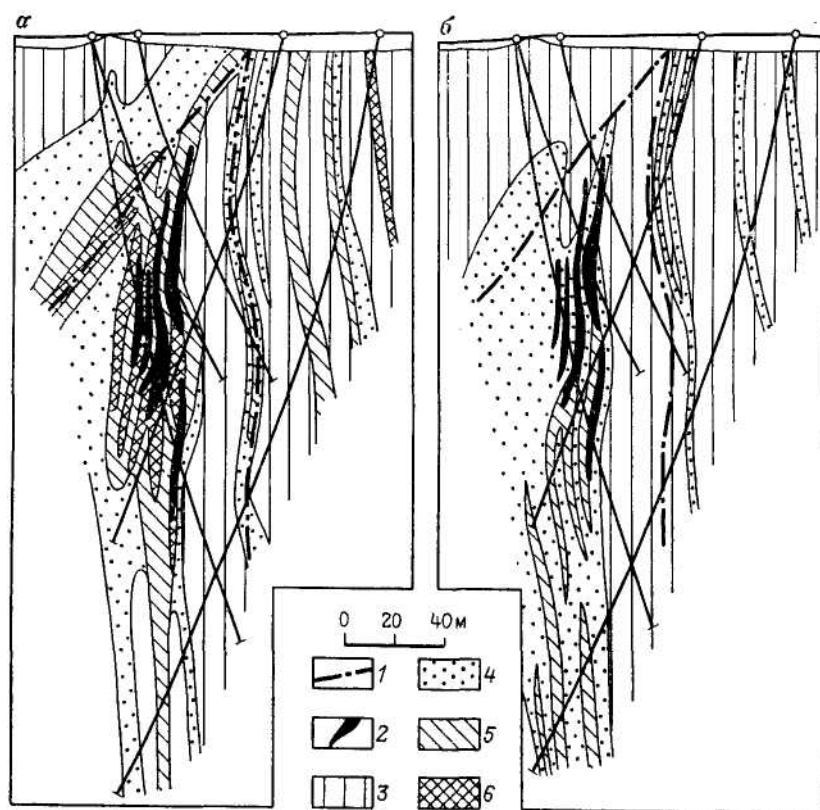


Рис. 6 Мультипликативные ореолы надрудных (а) элементов (Pb-Zn-Ba-Ag; } и подрудных (б) элементов (Cu-Co-Mo-Bi в разрезе через центральную часть. Петровского месторождения (по А. А. Головину).

1 — разломы; 2 — рудные тела; 3—6 — первичные ореолы различной интенсивности (6 — ореолы максимальной интенсивности)

Табл 1.

Плотность сетей геохимического опробования вторичных ореолов и ореолов рассеяния

Масштаб	Расстояние, м		Число проб на 1 км'
	между профилями	между точками на профилях	
1: 200 000	2000	200	2—5
1: 100 000	1000	100	10—20
1:50 000	500	50	20—40
1:25 000	250	50—40	80—100
1: 10 000	100	25—20	400—500
1:5000	50	20—10	1000—2000
1:2 000	25	10	4000

СТАДИИ ПОИСКОВ. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

СТАДИИ ПОИСКОВ

Как указывалось во введении, стадия поисков месторождений полезных ископаемых разделяется на следующие подстадии: 1 — общие поиски; 2 — детальные поиски; 3 — поисково-оценочные работы.

Поиски месторождений твердых полезных ископаемых ставятся на основе геологических карт и карт прогноза полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000— 1 : 25 000 в пределах площадей, перспективных на нахождение полезных ископаемых. На площадях простого геологического строения и при установленных закономерностях локализации полезных ископаемых поисковые работы могут осуществляться на основе геологических карт и прогнозно-металлогенических схем масштаба 1 : 200 000.

Общие поиски имеют целью выявление площадей, перспективных на нахождение месторождений, а также самих месторождений полезных ископаемых и оценку их общих перспектив. Такие поиски осуществляются с помощью геологических визуальных, геофизических, геохимических методов, а также с применением поверхностных горных выработок и буровых скважин. В результате работ этой подстадии поисков выделяют и оконтуривают рудные поля, зоны, бассейны, рудные горизонты и т. п., а также обосновывают оценку перспектив исследованной территории с определением прогнозных запасов и рекомендациями об очередности дальнейших более детальных работ.

Детальные поиски ставятся на площадях, где выявлены перспективные рудопоявления, и на перспективных площадях, выделенных при общих поисках или находящихся в районах известных месторождений. Задачей детальных поисков является оценка перспектив исследованной территории и выявление скоплений минерального сырья, заслуживающих дальнейшей оценки. Детальные поиски в зависимости от условий проведения работ осуществляются наиболее рациональными комплексами поисковых методов с применением поверхностных горных и буровых работ. Масштаб детальных поисков выбирается в зависимости от сложности геологического строения исследуемой территории и особенностей ожидаемых рудоносных зон, рудных полей, месторождений и отдельных рудных тел порядка 1 : 10 000— 1 : 5000.

Поисково-оценочные работы осуществляются на перспективных проявлениях полезных ископаемых, выявленных на ранних подстадиях поисков, а также по заявкам первооткрывателей. Задача этих работ состоит в перспективной оценке выявленных минеральных скоплений и обоснованном выборе месторождений для предварительной разведки. Выполнение

указанной задачи осуществляется комплексом геологических, геофизических и геохимических исследований с использованием поверхностных горных и буровых работ; при этом производится геологическое картирование в зависимости от размеров и сложности строения объекта исследования в масштабе 1:10 000—1:1000; в значительных объемах проводится опробование полезного ископаемого по естественным и искусственным обнажениям. В результате исследований этой подстадии на основании детального изучения поверхности, единичных разведочных выработок на глубину, а также геофизических и геохимических материалов должен быть определен геолого-промышленный тип, установлены геологические границы месторождения в плане и составлен геологически обоснованный прогноз о поведении рудных тел на глубину.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

К прогнозным относятся ресурсы, использование которых целесообразно при существующей или осваемой прогрессивной разведочной и горнодобывающей технике. Прогнозные ресурсы полезных ископаемых определяются для оценки перспектив бассейнов, районов, рудных узлов и полей, отдельных месторождений на основании их геологического изучения по аналогии с известными месторождениями и теоретических предпосылок производимыми геологическими производственными организациями.

В зависимости от степени изученности прогнозные ресурсы подразделяются на 3 категории: P_1 , P_2 , P_3 .

Прогнозные ресурсы P_1 : прогнозные ресурсы разведанных или перспективных месторождений, а также новых месторождений, на которых проведены поисково-оценочные работы. Обоснованием этой категории ресурсов служит представление о формационном типе месторождения, его генезисе, геологическая экстраполяция имеющихся по более изученной части месторождения данных о форме и строении тел полезных ископаемых, его качестве и др.

Прогнозные ресурсы P_2 : прогнозные ресурсы новых месторождений наличие которых обосновывается на положительной оценке выявленных при общих и детальных поисках и при геологической съемке масштаба 1:50000 проявлений полезного ископаемого, а также геохимических и геофизических аномалий.

Прогнозные ресурсы P_3 : прогнозные ресурсы потенциально перспективных площадей районов, в пределах которых косвенными методами могут быть выявлены полезные ископаемые.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Все методы оценки прогнозных ресурсов по результатам геологосъемочных и поисковых работ основаны на сопоставлении структурных

элементов, а также совокупностей прямых или косвенных признаков рудоносности оцениваемых и эталонных объектов. Для получения достоверных данных по каждому эталонному объекту должны быть заведомо известны значения критериев цели, т. е. величины и качества запасов полезных ископаемых, состав и геолого-промышленные типы оруденения, а также численные признаки объекта, характеризующие его облик и рудоносность. В соответствии с системным подходом к изучению недр при этом должно выполняться условие соразмерности эталона и объекта оценки, обеспечивающее их принадлежность к одному рангу природных образований. Так, например, при оценке прогнозных ресурсов рудных узлов их следует сопоставлять с эталонными рудными узлами, а при оценке ресурсов месторождений — с эталонными рудными месторождениями и т. д.

Независимо от ранга оцениваемого объекта его прогнозные ресурсы оцениваются без геометризации скоплений полезных ископаемых в недрах. Как правило, ресурсы категории P_1 , оцениваются в контурах выявленных месторождений, ресурсы категории P_2 — в контурах потенциальных рудных месторождений, а ресурсы категории P_3 — в контурах потенциальных рудных полей и более крупных потенциально рудоносных территорий (рудных узлов, районов, бассейнов или их частей).

Оценку прогнозных ресурсов целесообразно проводить в два последовательных этапа. На первом этапе с использованием геолого-прогнозной карты выделяется и ориентировочно оконтуривается объект прогнозной оценки (рудоперспективная территория, потенциальное рудное поле или участок потенциального месторождения). На втором этапе в контурах прогнозируемого объекта выполняется количественная оценка его прогнозных ресурсов. Как правило, прогнозные ресурсы категорий P_1 , P_2 и P_3 оцениваются для предполагаемых аналогов конкретных геолого-промышленных (или генетических) типов оруденения. При этом, если в пределах одной и той же перспективной площади оцениваются прогнозные ресурсы нескольких категорий, данные по каждой из них приводятся раздельно, т. е. из ресурсов категории P_3 вычитаются ресурсы категорий P_2 и P_1 а из ресурсов категории P_2 вычитаются ресурсы категории P_1 .

Выбор методов выявления перспективных объектов и оценки прогнозных ресурсов зависит от стадии геологоразведочных работ, характера и полноты исходных данных, геолого-структурных особенностей объекта, а также от вида прогнозируемого полезного ископаемого. Наиболее широким распространением в практике прогнозно-поисковых работ пользуются методы:

- 1) экспертных оценок;
- 2) оценки средней продуктивности;
- 3) моделирования рудолокализирующих факторов;

4) оценки по геохимическим признакам рудоносности.

В методах экспертных оценок используются обобщенные данные о перспективах рудоносности объекта, полученные несколькими экспертами на основании накопленных знаний и опыта, независимо друг от друга. В качестве экспертов выступают крупнейшие знатоки геологии и металлогении данной территории (обычно рудной провинции, области или района). В дальнейшем частные прогнозы обсуждаются и корректируются экспертами на протяжении нескольких последовательных туров, в результате чего устанавливаются наиболее правдоподобные оценочные параметры. Методы экспертных оценок субъективны, однако за исключением других данных, они часто используются на ранних стадиях изучения перспектив рудоносности крупных территорий

(как правило, до начала региональных геологосъемочных и геофизических работ масштаба 1 : 200 000).

Методы оценки средней продуктивности заключаются в экстраполяции закономерностей размещения полезного ископаемого, рудоконтролирующих факторов и критериев рудоносности эталонной территории на оцениваемую перспективную территорию с учетом степени их сходства.

Обычно для оценки прогнозных ресурсов используются:

— геометрические параметры перспективной территории — ее площадь S_0 , мощность M_0 продуктивных образований или их объем $V_0 = S_0 \cdot M_0$;

— оценки средней продуктивности эталонной территории $q_{\text{Э}} = Q_{\text{Э}} / V_{\text{Э}}$ (где $Q_{\text{Э}}$ — запасы полезного ископаемого на эталонной территории);

— поправочный коэффициент k , учитывающий степень сходства оцениваемой территории и эталона, выраженной в долях единицы.

Прогнозные ресурсы Q_P оцениваются по формуле

$$Q_P = k q_{\text{Э}} V_0.$$

В качестве геометрических параметров могут быть использованы площади или объемы продуктивных зон, толщ или рудоносных геологических формаций. В зависимости от видов полезных ископаемых удельные продуктивности оцениваемых геометрических параметров могут быть выражены числом рудных пластов, жил или жильных зон на единицу площади или длины, массами полезных ископаемых, компонентов или минералов на единицу площади или объема и др.

Очевидно, что достоверность оцениваемых прогнозных ресурсов Q_P в значительной мере зависит от принятого значения коэффициента k , для уверенного расчета которого часто недостает фактических данных. Чем больше сходство оцениваемого объекта и его эталона, тем ближе значения коэффициента k к единице и

выше достоверность прогнозных оценок. В связи с этим наиболее уверенные прогнозные оценки обеспечиваются при экстраполяции значений средних продуктивностей уже разведанных и оконтуренных запасов на примыкающие к ним участки недр.

Методы моделирования рудолокализирующих факторов исходят из положения о том, что геологические, геофизические и геохимические факторы, влияющие на локализацию полезных ископаемых, содержат информацию о вероятности и масштабах их проявления. В качестве факторов могут использоваться самые различные предпосылки и признаки рудоносности, обладающие достаточно высокой информативностью. Задача прогнозирования формируется как задача распознавания перспективных объектов и сводится к отысканию в пределах исследуемой территории участков, сходных по совокупности признаков с участками, где уже известны месторождения полезных ископаемых и масштаба их проявления.

В практике применяются различные варианты моделирования гудообразующих факторов, из которых наиболее широким распространением пользуются методы плоскостного и пообъектного прогнозирования. Плоскостное прогнозирование заключается в разделении всей изучаемой территории на равновеликие элементарные участки и в отыскании среди них тех, которые по комплексу признаков сходных с заведомо рудоносными (эталонными) участками. Пообъектное прогнозирование сводится к оценке прогнозных ресурсов отдельных геологических объектов (месторождений, рудных полей, узлов и др.) путем сопоставления их с соразмерными эталонными объектами по комплексу геологических предпосылок и признаков рудоносности.

Прогнозирование и оценка прогнозных ресурсов выполняются с помощью ЭВМ и предполагают наличие не менее двух обучающих выборок, из которых одна состоит из рудных (эталонных) объектов, а другая — из заведомо безрудных. К настоящему времени разработано большое число алгоритмов распознавания, из которых «К.ора-3», «Образ-3», «Гиперпласт», «Тау» и ряд других применяются специально для решения геологических задач.

Для целей распознавания вначале отбирают все признаки, позволяющие судить о вероятности проявления и масштабе оруденения, а затем с помощью ЭВМ оценивается значимость каждого признака и отбираются наиболее информативные из них. К числу наиболее информативных обычно относят не более 10—15 признаков, вклады которых не менее чем на порядок превышают вклады отбракованных признаков. Прогнозные ресурсы оцениваются путем сравнения информативных весов перспективных и эта-

лонных объектов — чем выше информативный вес объекта, тем крупнее его масштаб.

При использовании методов моделирования локализирующих факторов следует иметь в виду, что результаты прогнозирования и оценки ресурсов в первую очередь зависят от постановки задачи, выбора эталонов и признаков и в меньшей степени от алгоритма распознавания. В частности, принципиальное значение имеет строгое соблюдение принципа последовательных приближений и требований соразмерности эталонного и перспективного объектов на основе системного подхода к изучению недр.

Методы оценки прогнозных ресурсов по геохимическим признакам рудоносности отличаются наибольшей достоверностью и объективностью, поскольку исходные геохимические данные параметричны, универсальны и устойчивы. Для целей прогнозирования прогнозных ресурсов могут быть использованы самые различные прямые или косвенные признаки: средние содержания рудных элементов или их спутников в породах рыхлых отложений или в природных водах, характеристики интенсивности и экстенсивности метасоматических изменений вмещающих пород, характеристики их статистической неоднородности или корреляционных связей и др.

Среди многочисленных модификаций геохимических методов количественной оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых наибольшим распространением в практике геологосъемочных и поисковых работ пользуются методы оценки по:

- литохимическим ореолам и ареалам рассеяния;
- литохимическим или механическим потокам рассеяния;
- гидрохимическим потокам рассеяния в открытых водотоках.

Методы оценки прогнозных ресурсов по литохимическим ореолам и ареалам рассеяния разработаны А. П. Солововым. Они основаны на существовании устойчивых корреляционных связей между продуктивностями ареалов, ореолов рассеяния и коренных скоплений полезных ископаемых. Наиболее отчетливо эти связи проявляются между площадными продуктивностями первичных (эндогенных) ореолов полезных элементов или их спутников и продуктивностями месторождений, продуктивных зон или залежей.

Площадные продуктивности первичных ореолов P оцениваются по формуле

$$P = S(\bar{C}_x - C_\phi),$$

где S — площадь ореола; $\bar{C}_x$ — среднее содержание элемента в ореоле; C_ϕ — фоновое содержание элемента в ореоле.

Для расчета прогнозных ресурсов элемента на заданную глубину H используется формула

$$Q_H = \eta \alpha \frac{P}{40} H,$$

где x и a — поправочные коэффициенты, учитывающие, соответственно, уровень денудационного среза и долю кондиционного элемента в первичном ореоле. Деление на 40 связано с переходом от единиц продуктивности (метропроцентов) к весовым единицам ресурсов (тоннам элемента).

Для оценки коэффициента η должны использоваться все доступные геолого-минералогические, структурные и геоморфологические данные, а также индикаторные отношения продуктивностей мультипликативных надрудных и подрудных ореолов важнейших элементов-спутников основного оруденения. Зная величину индикаторного отношения, можно в первом приближении:

— выяснить глубину денудационного среза относительно средней, наиболее продуктивной ее части и, пользуясь статистическими данными об интервалах глубин месторождений данной рудной формации, оценить наиболее вероятные значения H ;

— внести поправку за величину денудационного среза при распределении площадей продуктивности элемента на глубину H .

Если ориентироваться на среднестатистические данные о размещении запасов эндогенных месторождений по глубинам, согласно которым около 75 % запасов приходится на их средние зоны, значение поправочного коэффициента η будет равно единице при величине денудационного среза месторождения около 0,3 H .

Для меньших срезов оно будет возрастать до 10 и более, а для глубоких срезов — уменьшать до 0,004 H и менее. При срезах, равных 0,5, значение поправочного коэффициента η составит примерно 0,4 H .

Коэффициент α , выражающий долю кондиционных запасов элемента в общем контуре первичного ореола, изменяется, по данным А. П. Соловова, от 0,9 в крупных и очень крупных месторождениях до 0,7 в средних и до 0,5 в мелких месторождениях, а в ореолах рудопроявлений его значение приближается к нулю.

Очевидно, что при оценках прогнозных ресурсов по предложенным формулам основные трудности возникают в связи с выбором значений поправочных коэффициентов, величины которых могут заметно изменяться в зависимости от видов полезных ископаемых, геолого-промышленных типов их месторождений, особенностей геологического строения оцениваемых блоков земной коры и других природных особенностей объектов изучения. Существенные коррективы в значения коэффициентов η и α могут быть внесены по данным экспериментальных работ на эталонных участках.

Для оценки прогнозных ресурсов потенциальных рудных месторождений и рудных полей могут быть использованы данные площадных продуктивностей вторичных ореолов элементов в автохтонных и

дальнеприносных отложениях. Подсчет продуктивностей, характеризующих надфоновые количества элемента в контурах ореолов, производится по формуле

$$P = \Delta S \left(\sum_{x=1}^n C_x - nC_{\Phi} \right) = S (\bar{C}_x - C_{\Phi}),$$

где ΔS — площадь ячейки сети наблюдений геохимической съемки; n — число ячеек с аномальными значениями содержаний в контуре ореола; C_x — содержание элемента в точке отбора пробы; C_{Φ} — фоновое содержание металла; S — общая площадь ореола.

Подсчет ресурсов на заданную глубину H выполняется по формуле

$$Q_n = k\eta\alpha \frac{P}{40} H,$$

где k — коэффициент пропорциональности между продуктивностями первичных и вторичных ореолов, устанавливаемый экспериментально на эталонных участках.

Величина этого коэффициента зависит от свойств химических элементов, ландшафтных условий оцениваемой территории и других природных факторов. Только за счет ландшафтных условий кларки концентраций различных элементов во вторичных литохимических ореолах могут варьировать от 50 до 500 раз, в связи

с чем изменяется и их геохимическая контрастность. Поэтому для уверенных оценок значений коэффициентов k необходимо детальное изучение современных и палеоландшафтных условий формирования ореолов, а также разработка методов их экспериментального обоснования.

Прогнозные ресурсы потенциальных рудных районов и узлов могут быть оценены по средним содержаниям элементов в геохимических специализированных комплексах пород (C_{cp}) или в ареалах их повышенных концентраций. Суммарные прогнозные ресурсы подсчитываются по формуле

$$Q = aC_{cp} dv,$$

где d — средняя объемная масса пород; v — суммарный объем оцениваемых ареалов или комплексов геохимически специализированных пород; $a = \text{МПР-ММ} = \text{КРФ}$ — коэффициент рудного фракционирования, равный произведению модуля потенциальной рудоносности МПР (доли элемента, находящейся в породах в концентрированном состоянии и соответствующей рудным концентрациям) и модуля масштабности ММ (доли концентрированного элемента, сосредоточенной в массах заданного масштаба).

По предложению А. А. Смылова значения МПР определяются экспериментально путем изучения минеральных балансов вмещающих пород, а значения ММ — путем оценки долей рудных площадей в эталонных шлифах. Данные для расчета остальных параметров могут

быть получены по материалам геохимического картирования или путем сглаживания результатов геохимического опробования оцениваемых территорий.

Метод оценки прогнозных ресурсов полито-химическим или механическим потокам рассеяния также разработан А. П. Солововым. Продуктивность потоков рассеяния элементов (полезных минералов) оценивается по данным съёмок донных осадков (шлиховых съёмок) по формуле

$$P'_x = S_x (C'_x - C'_\phi) = k' P,$$

где P'_x — площадная продуктивность потока рассеяния (в м² %) в пределах элементарной площади бассейна водосбора, на который распространяются данные одной точки опробования; S_x — элементарная площадь водосбора, на которую распространяются данные одной точки опробования; C_x — содержание элемента в пробе из донного осадка или в шлиховой пробе; C_ϕ — местное фоновое содержание элемента в аллювии; k' — коэффициент пропорциональности между продуктивностями потоков рассеяния и вторичных ореолов; P — продуктивность вторичных ореолов рассеяния в пределах данного водосбора, равная P'_x / k' .

Прогнозные ресурсы оцениваемых перспективных площадей Q_H подсчитывают через суммарные площадные продуктивности P_i по формуле

$$Q_H = \frac{1}{kk'} \frac{H}{40} \sum_{i=1} P'_i,$$

где k — коэффициент пропорциональности между продуктивностями вторичных и первичных ореолов; H — принятая глубина подсчета ресурсов; m — число смежных проб (или русел, дренирующих оцениваемую территорию).

Как и для остальных геохимических методов, достоверность оценок существенно зависит от принятых значений коэффициентов k и k' , величины которых могут изменяться в широких пределах и должны определяться экспериментально. При накоплении достаточных экспериментальных данных они могут рассчитываться аналитически с учетом совокупности влияния местных природных условий.

Оценка прогнозных ресурсов по гидрохимическим потокам рассеяния эффективна только для элементов, обладающих повышенной миграционной способностью в открытых водотоках.

Для оценки ресурсов используются результаты прямого определения содержаний элементов в водных пробах. Содержания элементов нормируются:

— на величину общей минерализации вод, что позволяет снижать влияние ландшафтных условий и выделить основную

зависимость содержаний элемента от его среднего содержания в породах;

— на коэффициент водной миграции элемента k (по А. И. Перельману), что позволяет выражать исходные данные в содержаниях, эквивалентных их средним содержаниям в породах.

Расчет прогнозных ресурсов производится по формуле

$$Q_p = aSHdC_{ан} \cdot 10^{-6} T,$$

где a — коэффициент рудного фракционирования; S — площадь территории, в контуре пород с аномальным содержанием элемента; H — заданная глубина подсчета; d — средняя объемная масса пород; $C_{ан}$ — средневзвешенное нормированное содержание элемента в воде (за вычетом натурального фона).

В качестве основы для расчета коэффициента рудного фракционирования В. С. Комаров рекомендует принять общую функциональную зависимость вероятности распределения дифференциальных запасов рудных элементов в зависимости от кларка их концентрации в рудах (Н. И. Сафронов).

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОИСКОВЫХ РАБОТ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ.

Рациональный комплекс поисковых работ включает ландшафтные, геолого-минералогические, геофизические и геохимические исследования с применением широкого спектра технических транспортных и горно-буровых средств, сочетание которых обеспечивает наиболее полное выявление и оценку объектов поисков — потенциальных рудных полей и месторождений полезных ископаемых с наименьшими затратами и в кратчайший срок. Выбор рационального комплекса поисковых методов и оптимизация условий проведения поисковых работ весьма сложная задача, решение которой зависит от целей работ и конкретной природной обстановки с учетом пространственных и временных факторов. При этом в соответствии с принципом последовательных приближений обязательно строгое соблюдение определенной последовательности работ, обеспечивающее постепенное возрастание плотности информации о поисковых объектах, а для реализации принципов аналогии и выборочной детализации необходимо многократное чередование геологических, геофизических и геохимических методов исследований воздушных, наземных и скважинных вариантов.

При выборе оптимальных условий и комплекса поисковых работ решающее значение имеют также и экономические показатели их эффективности.

1. Принципы комплексирования поисковых методов

Необходимость комплексирования различных модификаций геолого-минералогических, геофизических и геохимических поисковых методов обусловлена недоступностью объектов поисков для прямых наблюдений и многовариантностью толкования полученных результатов. Комплексное использование нескольких различных методов существенно уменьшает многозначность толкования результатов, повышает информативность сведений и эффективность поисковых работ.

В комплекс целесообразно включать только те методы, которые позволяют получать дополняющие друг друга полезные сведения об объектах исследования, особенно качественно новую информацию об их составе или строении.

Рациональный комплекс поисковых работ должен обеспечивать максимальную суммарную информативность сведений, т. е. объем полезной информации для наилучшего и наиболее полного решения поисковой задачи при минимальных затратах времени и средств.

Для отбора комплекса наиболее информативных поисковых методов, которые позволяют решить поисковую задачу наиболее полно, необходимо располагать априорной информацией о возможностях каждого из них в условиях, аналогичных условиям проектируемых поисковых работ. Эта информация может быть получена только по принципу аналогии, с учетом

опыта применения данного метода в сходных условиях или, реализуя принцип выборочной детализации, на основании опытно-экспериментальных исследований в пределах «ключевых» участков данной территории.

Все поисковые методы, результаты которых, взаимно дополняя друг друга, обеспечивают получение максимальной информации для выявления и оценки объекта поисков, образуют геологически эффективный комплекс. Вследствие разнообразия природных обстановок и условий проявления различных полезных ископаемых, каждый новый поисковый метод, способствующий их выявлению, вносит некоторую долю дополнительных сведений в общую сумму полезной информации за счет применения еще одного дополнительного метода часто не оправдывает затрат времени и средств на его проведение. Поэтому оптимизация геологически эффективного комплекса поисковых методов заключается в том, чтобы выбрать из них такие методы, которые в совокупности решали бы поисковую задачу с минимальными затратами и в кратчайшие сроки. Комплексы поисковых методов, эффективные как в геологическом, так и в экономическом отношении, считаются оптимальными комплексами.

При выборе геологически эффективных комплексов поисковых работ необходимо учитывать их цели и конкретные задачи, особенно геологического строения, современной и палеоланд-шафтной обстановок, проявления в них поисковых признаков полезных ископаемых, поисковые возможности оцениваемых методов и другие факторы, оказывающие заметное влияние на степень информативности получаемых сведений. С этой целью могут быть использованы различные подходы, основанные на применении статистически-информационных способов, теории игр или экспериментальных способов оценки геологической эффективности поисковых методов.

Статистические способы основаны на сравнительных оценках контрастностей, эффективных размеров и других статистических характеристик аномалий, выявляемых с помощью каждого из методов, а информационные методы — в расчетах информации, получаемой в результате применения того или иного метода, при решении конкретной поисковой задачи. Расчет информативности основан на оценке среднего количества информации о системе A , содержащейся в сообщении о состоянии систем B , по разности энтропии до и после сообщения. Способы, основанные на теории игр, используют возможность теории игр соответствующего раздела математики, позволяющую находить оптимальные решения в условиях неопределенности. Экспериментальный способ, наиболее достоверный в условиях геологоразведочных работ, основан, как уже отмечалось, на принципах аналогии и выборочной детализации наблюдений на эталонных (ключевых) участках.

2. Выбор рациональных комплексов поисковых методов

При выборе рациональных комплексов поисковых методов учитываются цели и задачи геологоразведочных работ, природные условия

ведения поисковых работ и прогнозируемые геолого-промышленные (формационные) типы месторождений полезных ископаемых.

При проведении среднемасштабных геологических съемок (масштаба 1:100 000—1:200 000 и мельче) комплексы сопровождающих их поисковых работ должны обеспечивать выявление и оценку перспектив потенциальных рудных бассейнов, районов и узлов на все виды полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категории Р₃.

При проведении крупномасштабных специализированных геологических съемок (масштаба 1:50 000 и крупнее) комплексы поисковых работ должны быть ориентированы на комплекс полезных ископаемых, свойственный данному рудному узлу (бассейну), и обеспечивать оценку их прогнозных ресурсов по категории Р₂. Рациональные комплексы поисковых работ для различных природных условий разработаны и рекомендованы В. И. Красниковым в зависимости от типов регионально-геологических структур.

В пределах щитов и эродированных складчатых областей преобладают рудовмещающие структуры субвертикальной ориентировки, в которых располагаются месторождения самых различных полезных ископаемых. Благодаря совокупному действию тектонических и денудационных процессов геологическое картирование и поиски в этих условиях могут основываться на естественном эрозионном вскрытии рудоносных формаций и залегающих в них месторождений. Рациональные комплексы поисковых работ включают в себя геолого-минералогические, геофизические и геохимические поисковые методы преимущественно в аэровоздушных и наземных вариантах.

В открытых районах платформ непосредственному наблюдению с воздуха или с поверхности земли доступны лишь верхние слои платформенного этажа, а их более глубокие горизонты с рудовмещающими структурами субгоризонтальной ориентировки или секущие структуры, осложненные проявлением платформенного магматизма, недоступны наблюдению. В полной мере это относится и к складчатому или кристаллическому фундаменту платформы. Для опознания закрытых структур необходимо применение скважинных модификаций поисковых методов.

В закрытых районах с региональным развитием покровов рыхлых или слоистых кайнозойских отложений выходы рудовмещающих пород и признаки полезных ископаемых практически отсутствуют, в связи с чем поиски в этих условиях возможны лишь с применением картировочного и поискового бурения в комплексе с глубинными структурно-геофизическими исследованиями.

Выбор рациональных методов и комплексов поисковых работ для выявления новых месторождений определенного геолого-промышленного типа зависит от геологических условий их локализации, морфологических особенностей и вещественного состава полезных ископаемых, контрастности

их физических свойств и свойств вмещающих пород, устойчивости полезных минералов в зоне гипергенеза и других свойств, определяющих возможность формирования солевых, и других ореолов, потоков и ареалов рассеяния элементов и минералов, как важнейших поисковых признаков. Например, в рациональных комплексах поисковых методов при поисках месторождений, обладающих контрастными физическими свойствами по сравнению со свойствами вмещающих пород, доминируют геофизические методы; при поисках месторождений, представленных полезными минералами, устойчивыми в условиях зоны гипергенеза, преобладают шлиховые методы; при поисках месторождений микроэлементов — геохимические методы и т. д. Существенное значение при выборе рациональных поисковых методов имеет подвижность (миграционная способность) данного элемента в условиях дневной поверхности, условия залегания и вероятные эрозионные срезы залежей полезных ископаемых и многие другие особенности месторождений конкретных геолого-промышленных типов, определяющие степень проявленности и достоверности их поисковых признаков.

3. Выбор оптимального комплекса и соотношений горных и буровых работ

При поисках полезных ископаемых широко используются такие технические средства, как различные поверхностные горные выработки (расчистки, закопушки, канавы, траншеи и шурфы), шпуры и скважины. Их роль и значение возрастают по мере детализации и укрупнения масштабов поисковых работ, в условиях ухудшающейся обнаженности горных пород, с переходом к поискам скрытых, перекрытых и не выходящих на поверхность месторождений, а также при поисках россыпей, месторождений полезных минералов и некоторых других видов полезных ископаемых.

На ранних стадиях поисков рудных полей и месторождений на территориях эродированных щитов, складчатых и активизированных областей в основном используются расчистки, закопушки, шпуры и мелкие скважины главным образом для целей шлихового и геохимического опробования, изучения аномалий и проявлений полезной минерализации. По мере укрупнения масштабов и детализации поисковых работ, особенно на участках выборочной детализации наблюдений, при проверках аномальных участков и зон появляется необходимость в проходках канав и бурении карти-ровочных скважин. В пределах перспективных площадей, на предполагаемых выходах потенциальных месторождений, помимо прослеживающих и магистральных канав, проходятся не только картировочные, но и поисковые шурфы и скважины, а при обнаружении признаков полезной минерализации — оценочные шурфы и скважины.

Как правило, глубины поисковых и оценочных горных выработок и скважин постепенно возрастают, поскольку возникают задачи изучения зон окисления полезных ископаемых и изменений их продуктивности с глубиной. При этом вместо бурения оценочных скважин часто проходятся глубокие шурфы, что обеспечивает возможность изучения текстурно-

структурных особенностей полезных ископаемых и повышение достоверности опробования рудных выходов.

Роль поверхностных горных выработок, шпуров и скважин возрастает также при проведении поисковых работ в условиях плохой обнаженности, вплоть до перехода к систематическому раз-буиванию территории по системам поисковых разрезов или поисковыми сетями скважин, равномерно размещенных по всей ее площади.

Способы искусственного обнажения поисковых объектов приобретают доминирующее значение и при проведении поисковых работ на некоторые специфические виды полезных ископаемых.

Так, например, при поисках россыпных месторождений поисковые шурфы или скважины используются на протяжении всего периода работ, начиная с момента обнаружения полезных минералов в шлихах. При этом предпочтение тому или иному техническому средству отдается в зависимости от стадии поисковых работ, природных условий поисков, типа и характера, пространственного размещения полезного ископаемого. В общем случае, в начальные периоды поисков предпочитают бурение скважин, а в конце — проходку шурфов для подтверждения результатов опробования. В условиях многолетней мерзлоты часто предпочитают проходку поисковых шурфов, с постепенным оттаиванием мерзлого слоя песков. При поисках ильменит-циркон-рутил-магнетитовых россыпей с высокими и сравнительно равномерными содержаниями полезных минералов обычно используются буровые скважины а при поисках алмазных, золотых или платиновых россыпей с низкими и неравномерными содержаниями ценных минералов — поисковые шурфы, позволяющие отбирать пробы крупных объемов.

Таким образом, при проведении геологических съемок и в начале поисковых работ в качестве технических средств для создания искусственных обнажений чаще всего используются мелкие расчистки, закопушки и шпуров, проходка которых осуществляется ручным способом или с помощью портативных приборов и установок. При проведении съемочно-поисковых и детальныи поисковых работ все шире используются неглубокие до 100—150 м картировочные и поисковые буровые скважины, а также поверхностные горные выработки — каналы, реже траншеи и шурфы. Бурение скважин осуществляется с помощью мотобуров, самоходных колонковых и шнековых буровых установок, высокопроходимых буровых установок, смонтированных на вездеходах, и другой мобильной техники. Для проходки каналов используются бульдозеры, многоковшовые и специальные канавокопатели, скреперные установки, а для проходки шурфов — шурфопроходческие агрегаты. Особенно широкое применение эта техника находит при проведении детализационных поисковых, поисково-оценочных работ, а также при поисках скрытых месторождений, не выходящих и не выходявших ранее на дневную поверхность.

При выборе оптимального комплекса горных и буровых работ предпочтение отдается тем техническим средствам, применение которых в

конкретных условиях ведения поисков обеспечивает максимальную экономию времени и средств. Только для расшифровки сложных геологических структур, обеспечения высокой достоверности опробования и значительных масс отбираемых проб, а также для оценок выявленных рудопроявлений на стадии поисково-оценочных работ возникает необходимость обязательного применения поверхностных горных выработок, доля которых зависит от сложности строения оцениваемых объектов и ожидаемой достоверности получаемых результатов.

4. Оптимизация геометрии поисковых сетей

Повышению эффективности поисковых работ способствует выбор такой геометрии поисковой сети наблюдений, при которой обеспечивается выявление и оценка объектов поисков с минимальными затратами времени и труда. Для этого необходимо правильно ориентировать поисковые маршруты, выбрать оптимальные расстояния между ними и между точками наблюдений по каждому из маршрутов.

Методически обоснованная оптимизация геометрии поисковых сетей возможна лишь в самых общих чертах, так как до начала работ сведения об условиях залегания и морфологии объектов поисков весьма ограничены.

В стремлении канонизировать методику рассева оптимальных геометрических сетей скважин или опробования И. Д. Савинским в 1964 г. были составлены таблицы вероятностей подсечения объектов эллиптической формы случайно расположенной прямоугольной сетью, а в 1967 г. А. М. Шурыгиным было предложено решение задачи разбиения поисковой сети, обеспечивающее подсечение залежей определенной формы и размеров с заданной вероятностью при минимальном числе скважин. Очевидно, что в обоих случаях размеры и формы гипотетических залежей неизвестны. Они могут предполагаться лишь по принципу аналогии, что заведомо исключает необходимость тщательно обоснованных количественных расчетов. К тому же объектами поисковых работ являются не отдельные залежи полезных ископаемых, а рудные поля или месторождения, размеры которых на несколько порядков больше размеров залежей. Кроме того, в задачу поисков входит не столько подсечение рудных скоплений (хотя бы одной скважиной), сколько выявление поисковых признаков рудных полей или месторождений, т. е. площадей с аномальными концентрациями полезных компонентов (или других указателей полезной минерализации) и закономерностей их пространственного размещения в пределах этих площадей. Поэтому при оптимизации геометрии поисковой сети и числа наблюдений на единицу площади следует исходить из масштаба поисковых работ и размеров прогнозируемых объектов, которыми определяются формы и размеры статистических окон сглаживания исходных данных.

В геологоразведочной практике поисковые маршруты ориентируются, как правило, в направлении максимальной изменчивости свойств поисковых объектов — вкрест простирания установленных или предполагаемых рудоносных структур, а для поисковых методов, основанных на

исследованиях гидросети,— вдоль тальвегов рек, ручьев и временно действующих водотоков.

Густота маршрутов выбирается в зависимости от масштабов поисковых работ. Обычно они располагаются на расстояниях в 1 см друг от друга на картах соответствующих масштабов, т. е. через 500 м при поисках масштаба 1:50 000, через 100 м при поисках масштаба 1:10 000 и через 20 м при поисках масштаба 1:2000. По линиям маршрутов точки наблюдений сгущаются в 5— 10 раз. Для большинства наземных видов поисковых работ число точек наблюдений на 1 см² карты составляет от 4 до 10, в зависимости от вида и масштаба поисков, сложности геологического строения территории и степени проявленности поисковых признаков. В пересчете на 1 км² территории это составляет примерно 40, 500 и 10 000 точек (проб), соответственно для поисков масштабов 1:50 000, 1:10 000 и 1:2000.

В зависимости от представлений об условиях залегания и морфологических особенностях объектов поисков ячейки поисковых сетей могут быть прямоугольными или квадратными. Как уже было сказано, при наземных съемках преобладают отчетливо прямоугольные сети, вытянутые по простиранию рудоносных структур. Это связано с тем, что по условиям проведения поисков любое сгущение наблюдений по направлению маршрута (вплоть до сплошной записи сигнала при использовании самописцев) не вызывает особых осложнений, в то время как сгущение линий маршрутов равноценно укрупнению масштаба поисковых работ. При выборе оптимальных соотношений сторон ячеек поисковых сетей (зависящих от расстояний между смежными точками наблюдений по маршруту и расстояний между маршрутами) ориентируются на представления об анизотропии форм поисковых объектов, выраженных соотношениями их длин и широт. Так, например, при поисках долинной россыпи лентообразной формы, длина которой на два порядка больше ее ширины, расстояния между поисковыми шурфами или скважинами на профилях не должны превышать одного-двух десятков метров, если расстояния между смежными поперечными профилями составляют несколько сотен метров. При поисках минерализованной зоны, контролируемой системой субпараллельных тектонических нарушений, длинные оси ячеек поисковой сети ориентируются вдоль этих нарушений, а отношения длинных и коротких их сторон определяются предлагаемым отношением длины и ширины зоны минерализованных пород и т. д. Лишь в тех случаях, когда предполагаются примерно изометрические контуры поисковых объектов или четкие представления об их морфологических особенностях отсутствуют, рекомендуется использовать квадратные поисковые сети.

При поисках перекрытых или слепых рудных полей и месторождений с помощью буровых скважин размеры ячеек поисковой сети увеличиваются с увеличением мощностей перекрывающих отложений. Как правило, плотности поисковых сетей в таких случаях значительно меньше, чем при открытых поисковых работах. Для поисков в закрытых районах масштаба

1:50 000 число поисковых скважин на 1 км² измеряется единицами, для масштаба 1:10 000 редко превышает 30—40, а для масштаба 1:2000— 100—120 скважин. Часто при выборе расстояний между соседними поисковыми профилями и скважинами на профилях учитываются возможности их последующего сгущения на участках поисково-разведочных и предварительных разведочных работ. Например, при поисках вытянутых урановорудных зон инфильтрационного происхождения используются поисковые сети 1,6х0,4 км, которые на перспективных участках последовательно сгущаются до 800 X X200 м, а на участках детализированных работ — до 400х100 м и т. д.

С позиций требований статистической обработки исходных данных с целью выявления закономерных составляющих изменчивости изучаемых поисковых признаков используемые на практике поисковые сети вполне приемлемы. Во многих случаях сети наблюдений наземных поисковых работ представляются даже излишне плотными, однако с учетом различной степени проявления поисковых признаков в приповерхностных условиях и незначительности экономического эффекта от разрежения точек наблюдений по маршрутам следует ориентироваться на установленные практикой данные. В пределе на каждый квадратный сантиметр карты данного масштаба должно быть не менее одной точки наблюдения.

5. Охрана окружающей среды при проведении поисковых работ

Использование современных технических и транспортных средств при поисках полезных ископаемых требует соблюдения мер по охране природы и окружающей среды не только в хорошо освоенных, но и в удаленных необжитых районах.

В районах интенсивного земледелия и животноводства проведение поверхностных горных выработок приводит к порче садов, огородов, пастбищ и полей, особенно при использовании бульдозеров и канавокопателей для механизированной проходки магистральных и прослеживающих канав, а также при проведении буровзрывных работ «на выброс». Не меньший вред сельскохозяйственным угодьям наносят буровые установки, смонтированные на автомашинах, гусеничном транспорте или на салазках, передвигаемых с помощью тракторов. На путях передвижных буровых установок нарушается строение почвы, а вокруг каждой из скважин, в радиусе до 20 м и более уничтожаются посевы или вытравляется растительность, особенно в тех случаях, когда скважины бурятся с применением глинистых растворов при свободном изливании раствора из скважины. Прорубка магистральных ходов и связанных с ними поисковых маршрутов нарушает сплошность лесных и кустарниковых массивов, а несвоевременная уборка сваленного леса повышает опасность возникновения лесных пожаров.

В условиях тундровых и лесотундровых районов, а также в районах барханных пустынь большой вред окружающей природе наносит самоходный транспорт на гусеничном ходу, нарушающий растительный и

почвенный покровы, на восстановление которых требуются годы. Из-за неосторожного обращения с огнем, взрывчатыми или легковоспламеняющимися веществами при проведении поисковых работ в лесных и лесостепных районах нередко возникают пожары, особенно опасные в засушливые сезоны.

В целях максимального сохранения природы и окружающей среды при проведении поисковых работ в богатых сельскохозяйственных районах рекомендуется:

- располагать поверхностные горные выработки, картировочные и поисковые скважины не по геометрически правильной сети, а сообразуясь, по возможности, с местными условиями — на участках, свободных от поисков (обочинах дорог, межах, пустырях и т. п.), согласуя места их заложения с руководителями сельскохозяйственных служб;

- проводить основные объемы буровых работ в зимние месяцы, когда полевые угодья находятся в замерзшем состоянии под покровом снега;

- при бурении скважин не допускать самоизливания бурового раствора, а пробуренные скважины тампонируют;

- тщательно засыпать все пройденные горные выработки после их документации и опробования;

- после завершения горных буровых работ на всех потравленных участках проводить рекультивацию земель (восстановление почвенного слоя);

- располагать магистральные ходы и линии поисковых маршрутов, по возможности, вдоль дорог, лесных просек, линий электропередачи и т. д., а при необходимости прорубки просек в целинных лесных массивах и стремиться к совмещению пунктов наблюдений всех видов поисков в их пределах при соблюдении требований лесохозяйственных организаций к проведению такого рода работ.

При поисках полезных ископаемых в тундровых, лесотундровых и пустынных районах ограничивать езду на вездеходах и других гусеничных транспортных средствах преимущественно линиями временных дорог, магистралей и поисковых маршрутов, исключая беспорядочное передвижение транспорта по всей территории поискового района.

При проведении поверхностных горных выработок на залесенных территориях не допускать массового применения буро-взрывных работ «на выброс», а также обеспечивать неукоснительное выполнение требований противопожарной безопасности при проведении поисковых маршрутов, проходках горных выработок, бурении скважин и на местах лагерных стоянок.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Геофизические исследования скважин впервые были предложены и реализованы на практике в конце 20-х годов нашего века братьями М. и К. Шлюмберже во Франции. Это был электрический каротаж. Каротаж - слово французского происхождения и ведет свое начало от *carotte* -морковь. Морковь и геофизические исследования?! Что же здесь общего? По-видимому, французским специалистам извлекаемый при бурении цилиндрический столбик керна напоминал морковку, а так как геофизические исследования заменили трудоемкий процесс извлечения из скважины "морковки", то эти исследования называли *carottage* - каротаж. Как бы там ни было, но слово "каротаж" прижилось в нашем техническом словаре и означает изучение геологических разрезов скважин геофизическими методами.

В зависимости от того, какие физические свойства горных пород изучаются при исследовании скважин, различаются методы каротажа: электрический, радиоактивный, акустический, термический и др.

Геофизические исследования в скважинах осуществляются с помощью специального каротажного оборудования и аппаратуры (рис. 1). Каротажный кабель размещается на лебедке, смонтированной на автомобиле высокой проходимости, а геофизический прибор на кабеле опускается в скважину. При подъеме прибора по скважине производятся непрерывные измерения различных геофизических параметров. Результаты измерений по кабелю поступают в каротажную лабораторию, где они регистрируются.

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ

Как уже было сказано выше, среди промышленных геофизических методов электрический каротаж возник раньше других. Этот метод является также главным по своему значению в деле изучения геологического разреза скважины, по разработанности теоретических основ и по многообразию своих разновидностей (модификаций). Без электрического каротажа не бурится сегодня ни одна нефтяная или газовая скважина. Информация, получаемая по данным электрокаротажных измерений, является основным геологическим документом, по которому судят о наличии и запасах ряда полезных ископаемых. в первую очередь нефти и газа.

При электрическом каротаже измеряют удельное сопротивление пород, пересеченных скважиной, и электрическое поле естественных потенциалов, самопроизвольно возникающих в скважине.

1.1. Метод кажущегося сопротивления

Из курса физики известно, что электрическое сопротивление R проводника, состоящего из однородного материала, прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади сечения S , т. е.

$$R = \frac{l}{S}$$

Коэффициент ρ , характеризующий способность проводника (например, горной породы) пропускать электрический ток, называют его удельным сопротивлением. Если взять длину проводника в метрах, а его сечение в квадратных метрах, то удельное электрическое сопротивление будет выражаться в ом-метрах (Ом-м). Эта величина взята в качестве практической единицы удельного сопротивления при электрическом каротаже.

Удельное сопротивление пород изменяется в больших пределах: от десятых долей ом-метра до нескольких сотен тысяч ом-метров, благодаря чему оказывается возможным изучать состав горных пород, измеряя их ρ . Большинство горных пород состоит из зерен различных минералов и порового пространства, заполненного жидкостью (водными растворами солей различной концентрации). Поэтому удельное сопротивление таких пород зависит от сопротивления минералов, входящих в их состав, и сопротивления водных растворов, насыщающих поровое пространство породы. Электрический ток в водных растворах вызывается движением ионов растворенных солей.

Большинство минералов, входящих в состав пород, обладает очень высоким удельным сопротивлением. Относительно низкое ρ некоторых пород осадочного происхождения объясняется главным образом наличием в них водных растворов солей.

Пористые горные породы (пески, песчаники, глины, известняки) имеют удельное сопротивление, изменяющееся в широких пределах в зависимости от состава пластовой жидкости (например, изолятор - нефть, проводник тока - вода), от минерализации пластовой воды и, очевидно, от ее количества в порах (т. е. от пористости породы).

Следовательно, измеряя в скважине удельное сопротивление горных пород, можно судить о характере насыщающей горную породу жидкости (нефть или вода), о минерализации пластовой воды и о пористости породы.

Каменный уголь и каменная соль обычно имеют высокие удельные сопротивления, так как объем пор в них незначителен. Метаморфизованный каменный уголь - антрацит обладает очень низким удельным сопротивлением. Это связано с тем, что в антраците электрический ток вызывается движением электронов (электронная проводимость). Очень высокую электронную проводимость и очень низкое удельное сопротивление также имеют рудные минералы (например, пирит, магнетит и др.).

Измерения удельного сопротивления пород, вскрытых скважиной, производится с помощью зонда электрического каротажа, представляющего собой систему электродов, установленных на каротажном кабеле.

Зонд содержит обычно три электрода: А, М и N (рис. 2). Четвертый электрод В заземляется на поверхности. Наиболее распространенные размеры зонда (расстояние между электродами) от 0,5 до 8 м. Через электрод А пропускают ток низкой частоты (5-7 Гц) от источника питания на поверх-

ности. Этот ток создает между электродами М и N зонда разность потенциалов ΔU .

Так как сила тока во время измерений поддерживается постоянной, то величина p будет определяться лишь разностью потенциалов. Поэтому, регистрируя ΔU непрерывно в процессе перемещения зонда по стволу скважины и записывая получаемые величины регистратором на бумажной, фотографической или цифровой ленте в определенном масштабе глубин, получают кривую изменения p по стволу скважины, или диаграмм} каротажа сопротивлений. В реальных скважинных условиях измеряемая величина ΔU определяется не только удельным сопротивлением p пласта, а также будет зависеть от удельных сопротивлений бурового раствора p_o , вмещающих пород $p_{вм}$ - зоны проникновения $p_{зн}$, от мощности пласта h , диаметра зоны проникновения D и диаметра скважины a . Измеряемая при этих условиях величина удельного сопротивления называется **кажущимся сопротивлением** (КС) или p_k , а регистрируемая кривая диаграмма – КС.

Существуют два основных типа каротажных зондов: градиент-зонды и потенциал-зонды. Градиент-зондами называются зонды, у которых расстояние между парными электродами М и N или А и В намного меньше (не менее чем в 5-10 раз), чем между непарными АМ. Точка записи, к которой относится измеренное сопротивление, располагается посередине АМ. Потенциал-зондами называются зонды, у которых расстояние между парными электродами MN (AB) намного больше, чем между непарными АМ. Расстояние АМ является размером потенциал-зонда. Точка записи О расположена посередине сближенных электродов АМ.

Определение границ пластов высокого и низкого сопротивлений на диаграммах КС, записанных градиент- и потенциал-зондами, проиллюстрировано на рис. 3.

Очевидно, что для оценки пласта и определения характера его насыщения одной кривой КС недостаточно, так как влияние многих факторов (p_c , $p_{зн}$, h и т. д.) может настолько изменить измеряемую величину p_k , что она почти не будет отражать истинного удельного сопротивления породы.

При боковом каротаже (БК) также измеряется удельное электрическое сопротивление горных пород, но зонд имеет особую конструкцию и специальную схему измерений, обеспечивающих значительное уменьшение влияния скважины (p_c , d) и мощности пласта на результаты измерений. Особенно успешно применяется боковой каротаж при исследовании скважин, заполненных очень соленым (высокоминерализованным) буровым раствором. Поэтому не случайно метод бокового каротажа показал высокую эффективность при исследовании скважин в Припятском прогибе. В этих условиях обычный (стандартный) электрический каротаж сопротивления оказывается бессильным для выделения и оценки пластов, так как практически весь электрический ток из электрода А будет протекать по стволу скважины (соленый буровой раствор имеет очень низкое электрическое сопротивление) и не будет попадать в горные породы.

Другой модификацией бокового каротажа при детальных исследованиях скважин, заполненных соленым буровым раствором, является боковой микрокаротаж. Этот метод сочетает особенности бокового каротажа и микрокаротажа, благодаря чему влияние промежуточного слоя на результаты измерений становится минимальным, а высокая расчленяющая способность остается.

Электрический каротаж в микроварианте используется для определения удельного сопротивления бурового раствора. В этом случае близконаходящиеся друг от друга электроды располагаются таким образом, чтобы исключить влияние горных пород. С этой целью электроды помещают внутрь полого цилиндра. Буровой раствор при движении цилиндра по скважине проходит внутри его и омывает электроды. Измеряемая при этом разность потенциалов будет определяться только удельным сопротивлением бурового раствора. Этот прибор получил название резистивиметра, а метод резистивиметрии.

При исследовании терригенных разрезов скважин применяется индукционный каротаж. Он также относится к электрическим методам исследования скважин, но значительно отличается от стандартного электрического каротажа и его модификаций как по принципу измерений, так и по конструктивным особенностям. При индукционном каротаже источником электрической энергии в скважине является катушка индуктивности, через которую протекают ток высокой частоты (20-100 кГц). В результате в окружающих катушку горных породах возникает электромагнитное поле той же частоты. Это поле в свою очередь создает в горной породе, как в проводнике электрического тока, вторичное электромагнитное поле, величина которого прямо пропорциональна удельной электрической проводимости пород σ . Удельная электрическая проводимость σ - величина, обратная удельному электрическому сопротивлению, т. е.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Таким образом, измеряя создаваемое в пласте вторичное электромагнитное поле, можно определить удельную проводимость пласта.

Индукционный каротаж имеет целый ряд преимуществ перед стандартным электрическим каротажем. На результатах его измерений мало сказываются влияние скважины, зона проникновения и вмещающие породы. На Диаграмме индукционного каротажа очень детально расчленяется разрез скважины, представленный пластами низкого удельного сопротивления (например, глины, водоносные пески, песчаники). При индукционном каротаже нет необходимости в непосредственном гальваническом контакте электрода с буровым раствором, как это имеет место в стандартном электрическом каротаже. Катушка индуктивности помещается в герметически закрытый непроницаемый кожух, изготовленный из непроводящего материала. Поэтому индукционный каротаж может применяться при исследованиях скважин, заполненных непроводящим буровым раствором, а также в сухих скважинах.

Однако этот метод имеет существенные недостатки, заключающиеся в невозможности оценить породы с удельным электрическим сопротивлением свыше 100 Ом·м. Это серьезно ограничивает применение индукционного каротажа при исследовании скважин, разрез которых представлен высокоомными, например, карбонатными породами.

Все рассмотренные выше методы каротажа основаны на изучении удельного электрического сопротивления пласта, вскрытого скважиной, и могут быть названы каротажем сопротивлений. Однако метод сопротивлений не решает все вопросы, связанные с литологическим строением и характером насыщенности пород. Высокое удельное сопротивление может иметь как пласт, насыщенный нефтью, так и пласт, сложенный очень плотной породой, но водоносный. Проникновение воды высокой минерализации в нефтяной пласт может настолько снизить ρ , что пласт будет казаться водоносным, и т. д. Чтобы избавиться от этой неоднозначности, в промысловой геофизике используется метод потенциала скважины.

2. РАДИОАКТИВНЫЙ КАРОТАЖ

Очень важным методом геофизических исследований скважин, дающим ценную информацию о геологическом строении разреза, является **радиоактивный каротаж (РК)**.

В радиоактивном каротаже, как и в электрическом, имеются несколько различных модификаций. Это гамма-каротаж (ГК), нейтронный гамма-каротаж ЛТГК), гамма-гамма-каротаж (ГТК), импульсный нейтронный каротаж (ИНК).

2.1. Гамма-каротаж

Гамма-каротаж (ГК) заключается в проведении измерений естественной радиоактивности в разрезе скважины при перемещении в ней радиометра. Измерительная установка состоит из детектора и электронной схемы (рис. 4).

Радиоактивность горных пород практически полностью обусловлена элементами семейств урана, тория и продуктами их распада, а также изотопами калия, один из которых калий-40 является радиоактивным. Уран и торий входят в состав урановых и ториевых минералов. Изотоп калий-40 присутствует во всех минералах, содержащих калий-39, причем доля калия-40 от общего содержания калия составляет 0,0119 %.

Радиоактивность магматических пород возрастает от основных к кислым. Максимальной радиоактивностью среди кислых и вообще всех магматических пород обладают граниты. Радиоактивность осадочных пород изменяется в широких пределах, достигая в отдельных случаях радиоактивности кислых магматических пород.

Радиоактивность обломочных пород обусловлена не только присутствием обломков радиоактивных минералов, но и, прежде всего, адсорбцией ионов урана, тория и калия на поверхности частиц. Максимальной радиоактивностью характеризуются глины, благодаря их огромной поверхности, минимальной - чистые кварцевые песчаники. Полимиктовые песчаники даже

при малой глинистости обладают значительной радиоактивностью, поскольку у них часть зерен скелетной фракции представлена калийсодержащими минералами - полевым шпатом, глауконитом, микроклином. Радиоактивность песчаников и алевролитов возрастает с увеличением глинистости. Радиоактивность карбонатных пород, как правило, низкая. С ростом содержания нерастворимого остатка радиоактивность известняков и доломитов увеличивается. Низкой радиоактивностью характеризуется большинство хемогенных пород, за исключением калийных солей.

Каменные угли обычно малорадиоактивны, однако среди них встречаются и высокордиоактивные разности с промышленным содержанием урана. Радиоактивность природных нефтей обычно низкая. Высокую радиоактивность благодаря содержанию в них урана имеют природные битумы и битуминозные породы. 16

Определение границ пластов на диаграммах детального гамма-каротажа (масштаб 1 : 50, 1 : 10 и др.) производится различными способами. В зависимости от характера оруденения и размеров аномалии границы рудного тела (пласта) могут определяться следующими способами: $1/2 I_{\text{макс}}$, $4/5 I_{\text{макс}}$ и $I_{\text{зад}}$ (способ заданной интенсивности).

Способ $1/2 I_{\text{макс}}$ основан на том, что для насыщенного по мощности рудного пласта на его границе интенсивность гамма-излучения равна половине максимальной интенсивности. Поскольку $I_{\text{макс}}$ пласта $h > 30-40$ см при плотности пород 2 г/см^3 практически близка к интенсивности насыщенного по гамма-излучению пласта I_X , то при истинных мощностях рудных пластов не менее 30-40 см границы их определяются по способу $1/2 I_{\text{макс}}$ (рис. 5, а). Максимальная интенсивность ($I_{\text{макс}}$) отсчитывается от интенсивности вмещающих пород, которая может быть разной для пород, залегающих в кровле и подошве рудного пласта. В случае отсутствия на аномалии ГК четких границ рудного пласта их находят по точкам, делящим пополам прямоугольные отрезки на склонах аномалии (точки Р и Ц на отрезках ПБ и ВХ) (см. рис. 5, б).

Способ $4/5 I_{\text{макс}}$ основан на зависимости $4/5 I_{\text{макс}}$ от мощности рудного тела. Мощность определяют, используя кривую зависимости Z от мощности рудного тела или продуктивного пласта.

Спектрометрия естественного гамма-излучения. Характерной ее особенностью является не только общая радиоактивность пород, но и вклад, который вносят в нее урановая, ториевая и калиевая составляющие. Вклад определяется как содержанием данного изотопа, так и характерным для него дифференциальным энергетическим спектром - распределением интенсивности гамма-излучения по энергиям гамма-квантов. Спектр каждого изотопа имеет характерные для него максимумы, соответствующие определенным значениям энергии гамма-квантов E_{γ} .

Для изучения спектров в скважинах в настоящее время применяются многоканальные скважинные спектрометры с цифровой записью, которые

позволяют исключить взаимное влияние близких энергетических линий и определить содержание искоемых элементов.

Метод гамма-гамма-каротажа (ГГК). Этот метод основан на измерении интенсивности гамма-излучения породы при облучении ее потоком гамма-квантов.

При облучении породы жесткими гамма-квантами ($E_\gamma > 1 \text{ МэВ}$) интенсивность рассеянного гамма-излучения, обусловленная главным образом комптоновским эффектом, определяется только плотностью среды и практически не зависит от содержания в ней тяжелых ядер элементов. Облучение породы мягкими гамма-квантами ($E_\gamma < 0,5 \text{ МэВ}$) - рассеянное гамма-излучение, обязанное фотоэффекту, интенсивность его пропорциональна атомному номеру вещества Z и не зависит от его плотности. В связи с этим ГГК применяют в двух модификациях: а) в плотностном варианте - для изучения плотности пород; б) в селективном варианте - для определения концентрации в породе элементов с большим атомным номером.

Метод ГГК в плотностном варианте (ГГК-п) применяется при исследовании скважин, пройденных на рудных и угольных месторождениях, и реже в нефтепоисковых скважинах. На диаграммах плотностного каротажа менее плотные породы имеют более высокие значения и наоборот. Очень четко по диаграммам ГГК в разрезе скважин выделяются пласты каменного угля, имеющие сравнительно невысокую плотность. При исследованиях нефтяных и газовых скважин данные гамма-гамма-каротажа используются для определения пористости песчано-глинистых коллекторов нефти и газа.

В селективной модификации (ГГК-с) результаты измерений зависят в основном от элементного состава пород. В методе ГГК-с используются источники мягкого гамма-излучения: ^{75}Se , ^{113}Sn , ^{123}Te , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{170}Tm , ^{203}Hg , ^{241}Am и др. Результаты измерений в значительной мере определяются эффективным порядковым номером $Z_{\text{эф}}$ среды. Для большинства горных пород $Z_{\text{эф}}$ - 11-15, в углях и углистых породах снижается до 6,5-7,5. $Z_{\text{эф}}$ руд определяется присутствием в них (процентным содержанием) тяжелых металлов с эффективным атомным номером $Z > 50$.

Одной из разновидностей метода ГГК является микрогамма-каротаж - мГГК. Он отличается высокой чувствительностью к изменению $Z_{\text{эф}}$ и ρ горных пород. Применяется зонд малых размеров ($L = 5 \text{ см}$) с источником ^{241}Am и углом между осями коллиматоров 30° .

2.2. Нейтронный каротаж

Под названием "нейтронный каротаж" объединяют различные методы радиометрии скважин, для которых общим является изучение эффектов, возникающих при облучении горных пород потоком нейтронов. Применяются методы плотности тепловых и надтепловых нейтронов (НК_T) и импульсный нейтронный каротаж (ИНК). При исследованиях скважин каждым из этих методов в качестве индикаторов обычно используют плутоние-

во-бериллиевый источник нейтронов, который при движении радиометра по скважине испускает непрерывный по времени или прерывистый (в импульсных методах) поток нейтронов.

Для радиометрии скважин основное значение имеют процессы рассеяния и поглощения нейтронов. Рассеяние нейтронов, в основном упругое, обуславливает потерю ими энергии и замедление. Каждый акт столкновения нейтрона с ядром какого-либо элемента приводит к потере нейтроном части первоначальной энергии, причем наибольшие потери происходят на ядрах легких элементов, в первую очередь на ядрах водорода. Если среда облучается быстрыми нейтронами высоких энергий ($E > 4-5$ МэВ), рассеяние нейтронов способствует превращению быстрых нейтронов в медленные или надтепловые ($E \sim 1$ МэВ) и тепловые ($E = 0,25$ МэВ), т. е. происходит замедление нейтронов, причем тем интенсивнее, чем больше в среде водорода. Для тепловых нейтронов при их взаимодействии с ядрами наиболее вероятен радиационный захват, сопровождаемый вторичным гамма-излучением. Среди ядер элементов, присутствующих в горных породах в значительном количестве, наибольшей активностью в отношении радиационного захвата обладают ядра хлора.

Кроме водорода и хлора существует ряд других элементов с аномальными нейтронными свойствами. Например, железо обладает аномальным сечением рассеяния и захвата; бор, марганец, кадмий, ртуть - аномальным сечением захвата. Аномальные нейтронные свойства этих элементов используют в нейтронных методах при поисках промышленных скоплений минералов, содержащих указанные элементы.

Для этой цели разработан метод спектрометрического нейтронного гамма-каротажа (НГК-С).

Выделяют три группы элементов с характерными максимумами интенсивности гамма-излучения радиационного захвата в области низких (до 204 МэВ), средних (4-6 МэВ) и высоких (более 6 МэВ) энергий гамма-квантов. Примерами элементов первой группы являются водород, калий, магний; второй - ванадий, ртуть, стронций; третьей - алюминий, железо, титан, медь, никель. Наиболее характерны спектры элементов третьей группы и некоторых элементов второй группы с аномально высоким сечением захвата σ . Поэтому широкое применение метод спектрометрии гамма-излучения радиационного захвата получил при поисках железных, никелевых, титановых и других руд. При нефтепоисковых работах основные перспективы метода связаны с двумя направлениями: а) спектрометрия гамма-излучения радиационного захвата хлора с целью повышения эффективности определения нейтронными методами характера насыщенности коллекторов по хлорсодержанию; б) определение элементарного состава коллекторов и вмещающих пород на основе анализа полных спектров гамма-излучения так же, как и при анализе спектров естественной гамма-активности пород. В настоящее время имеется аппаратура, основанная на одновременной регистрации и совместной

обработке спектров естественного и вызванного гамма-излучения, которая позволяет, определяя процентное содержание основных породообразующих элементов - кремния, алюминия, кальция, магния, калия, железа, а также радиоактивных - урана и тория, обеспечить детальное изучение пород сложного состава и решить вопросы их генезиса.

Импульсный нейтронный каротаж (ИНК). Этот метод основан на изучении времени жизни нейтронов в горных породах, вскрытых скважиной. Используемый в качестве источника нейтронов скважинный генератор работает в импульсном режиме, что позволяет в интервалах между импульсами нейтронного излучения регистрировать во времени количество нейтронов, диффундирующих в горной породе. Замедление быстрых нейтронов и их термализация, т. е. превращение в тепловые нейтроны, происходит в течение времени, определяемого единицами микросекунд (10^{-6} с), тогда как диффузия и захват тепловых нейтронов наблюдаются в течение сотен микросекунд. В связи с этим величина задержки t , используемой в ИНК, выбирается в интервале времени 200-2000 мкс, который охватывает практически все возможные значения времени жизни тепловых нейтронов в породах, слагающих разрезы нефтяных и газовых скважин.

ПРИЛОЖЕНИЕ

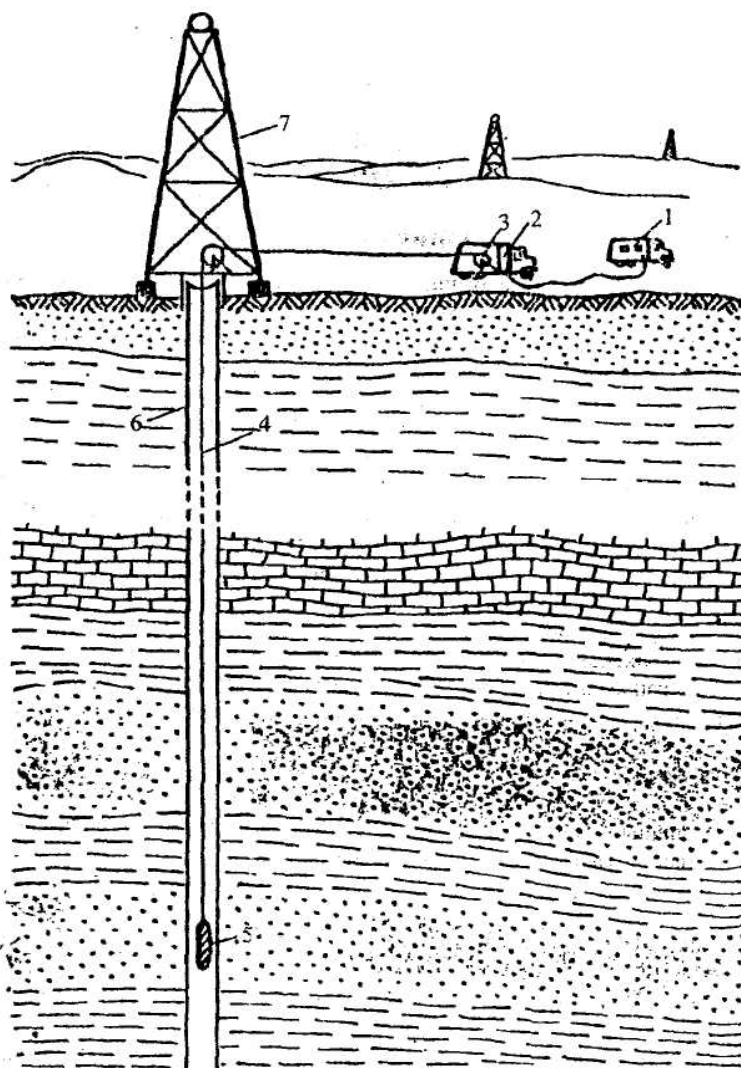


Рис. 1. Схема проведения геофизических исследований в скважине:

1 – каротажная лаборатория; 2 – каротажный подъемник; 3 – лебедка; 4 – каротажный кабель; 5 – глубинный скважинный прибор; 6 – ствол скважины; 7 – буровая вышка

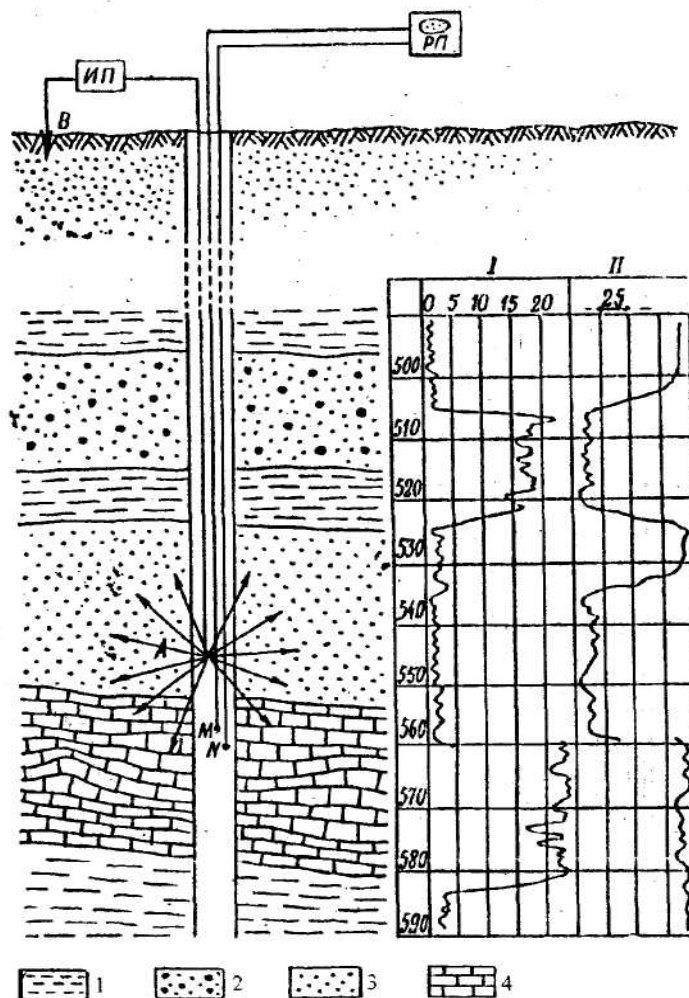


Рис. 2. Схема электрического каротажа на трехжильном кабеле:

1 – глина; 2 – нефтяной песчаник; 3 – водоносный песчаник; 4 – плотный известняк; I – диаграмма КС; II – диаграмма СП. А, В, М и N – электроды зонда. ИП – источник питания; РП – регистрирующий прибор.

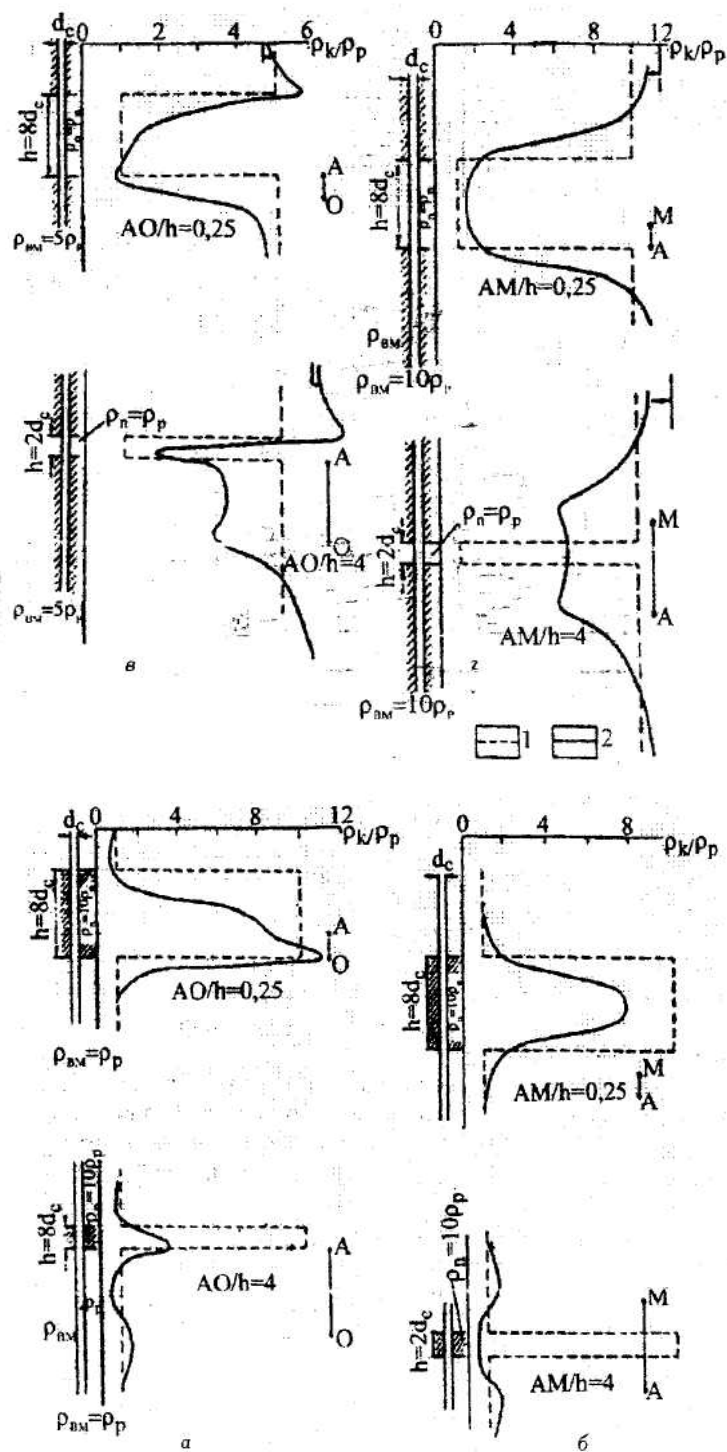


Рис. 3. Кривые моделирования электрического каротажа градиент- (а, в) и потенциал- зондами (б, г) при разных соотношениях сопротивления пластов (ρ_p) и вмещающих пород ($\rho_{вм}$).

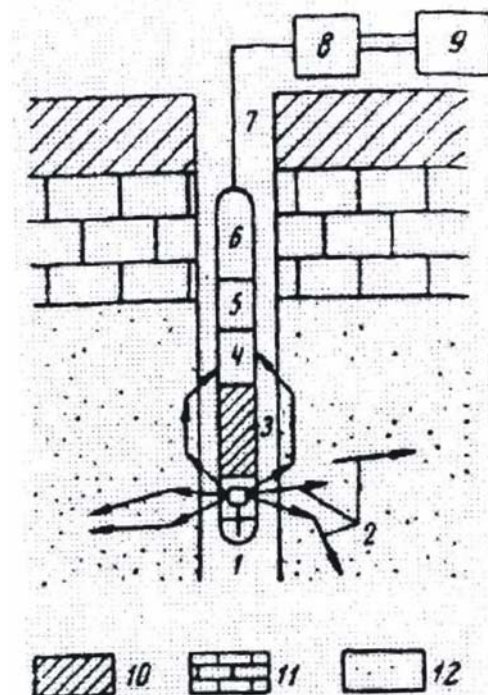


Рис. 4. Схема устройства аппаратуры ядерного каротажа:

1 - источник излучения; 2 - условные пуга движения гамма-квантов и нейтронов; 3 - экран; 4 - счетчик; 5 - блок питания; 6 - предварительный усилитель; 7 - кабель; 8 - усилитель; 9 -регистратор; 10 - глины, 11 - известняки; 12-пески

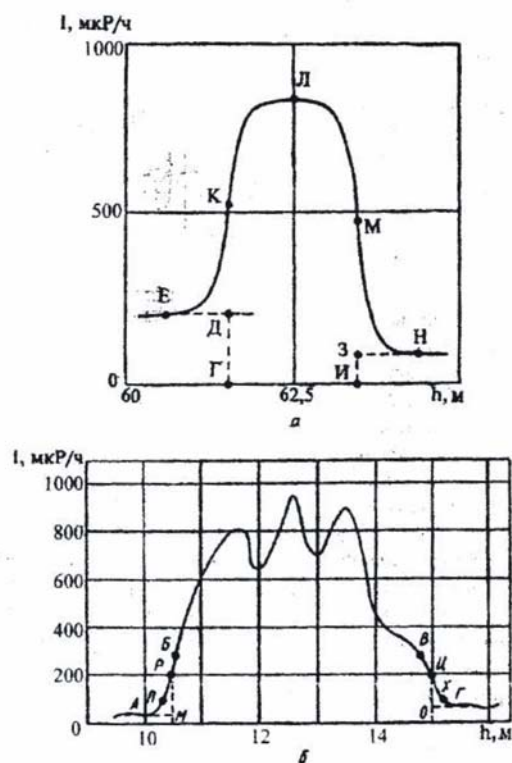


Рис. 5. Определение границ рудного тела по ГК: а — по способу $1/2 I_{\text{макс}}$ б — по способу половины линейного участка кривой аномалии

ВЫДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПО ГИС ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых осуществляются на основе использования поисковых геологических критериев и признаков. Среди основных поисковых критериев (стратиграфические, фациально-литологические, структурные, магматогенные, геоморфологические, геохимические, геофизические и др.) исключительная роль принадлежит геофизическим методам, в том числе методам ГИС. Особенно большое значение имеют данные геофизических исследований скважин в "закрытых" регионах при поисках "слепых" месторождений. Значение этих методов также неопределимо на различных стадиях разведки месторождений полезных ископаемых.

Выделение горных пород, в том числе полезных ископаемых, по данным ГИС основано на различии их физических свойств. В отличие от классификаций, применяемых в литологии и петрографии, где основными параметрами являются физические и химические свойства горных пород, здесь используются преимущественно такие их физические свойства, как электропроводность, радиоактивность, магнитные, упругие и другие свойства. При этом исследуют не свойства сухого вещества, а породы или полезные ископаемые, в той или иной мере содержащие воду или минерализованный раствор. Кроме того, изучение физических свойств горных пород осуществляется в стволе скважины, как правило, заполненной буровым раствором, водой или нефтью, причем диаметр скважины может существенно изменяться с глубиной и против пластов различного литологического или петрографического состава. Все это вносит существенные искажения в измеряемые физические характеристики горных пород. В результате полученные величины параметров в различных скважинах и даже в разных частях одной и той же скважины могут существенно отличаться.

Зависимость результатов измерений, выполняемых в скважинах, от истинных физических свойств горных пород довольно сложна. В связи с этим увязка результатов ГИС с данными литологического изучения разреза скважины оказывается задачей не простой, несмотря на то, что параметры, изучаемые геологами и параметры, измеряемые в скважинах геофизиками, несомненно характеризуют одну и ту же породу или полезное ископаемое. Более того, в отдельных случаях геофизические параметры у разных горных пород могут оказаться близкими. Так, например, при машинной обработке диаграмм ГИС по галитовой подтолще южной части Припятского прогиба чистые, преимущественно кварцевые песчаники с галитовым цементом были диагностированы как известняки.

Несомненно, что важнейшим принципом интерпретации данных ГИС "должна быть их высокая достоверность. Это может быть достигнуто (особенно в слабо изученных регионах или на начальных этапах их изучения)

наличием нескольких опорных разрезов с полным комплексом ГИС и со всесторонне изученным керновым материалом. В дальнейшем при интерпретации каротажных диаграмм желательно "привязываться" к типовым разрезам, в которых по данным геофизических наблюдений и изучения керна однозначно определены литологические разности пород и искомые полезные ископаемые. Отсюда вытекает следующий принцип - корреляция бескерновых разрезов скважин (или их частей) с опорными.

Наилучшие результаты достигаются при компьютерной интерпретации диаграмм различных параметров. Однако применяемые комплексы не всегда являются оптимальными для выделения полезных ископаемых. Так, например, стандартный комплекс геофизических исследований (КС, ГК, НТК, СП и кавернометрия), используемый в нефтепоисковых скважинах в Беларуси, позволяет решать ряд задач, связанных с расчленением разрезов скважин, но не является оптимальным для поиска полезных ископаемых – горючих сланцев, бурых углей, фосфоритов, калийных солей и т. д.

Полное изучение геологических разрезов скважин геофизическими методами распадается на два этапа: 1) общий анализ - расчленение разрезов скважин по литологии и определение положения пластов, их мощности и глубины залегания; 2) промышленные исследования - обнаружение и выявление полезных ископаемых : нефти, газа, ископаемых углей, металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Наиболее эффективное выделение и изучение полезных ископаемых по ГИС достигается включением в комплекс специальных методов (или их модификаций), которые являются определяющими (главными диагностирующими) для того или иного вида минерального сырья. Например, включение в комплекс ГИС селективного гамма-гамма-каротажа позволяет однозначно выделять пласты каменных и бурых углей, определять их зольность, а включение в комплекс геофизических исследований методов нейтронного каротажа, применяемых при поисках и разведке месторождений калийных солей, - дифференцировать в калийных горизонтах карналлитовые и сильвинитовые слои.

Даже при наличии в комплексе ГИС специальных методов с высокой разрешающей способностью (на конкретный вид минерального сырья) нередко приходится попутно выделять в разрезах скважин другие виды полезных ископаемых, для обнаружения которых применяемый комплекс малоэффективен. В этом случае желательно пользоваться принципом "парагенетических ассоциаций", т. е. связью конкретных полезных ископаемых с определенными формациями. Например, в эвапоритовых формациях хлоридного типа следует ожидать четко определенные минеральные парагенетические ассоциации калийных и магниевых солей (сильвин, карналлит, бишофит), а в сульфатных - более сложные ассоциации (наряду с указанными минералами также могут присутствовать каинит, лантбейнит, полетали и др.). Или другой пример: по данным стандартного комплекса ГИС, фосфориты и сильвиниты характеризуются близкими показаниями

основных параметров (КС, ПК, НТК). Однако эти полезные ископаемые связаны с различными по составу и генезису формациями. Приведенные примеры свидетельствуют о важности использования не только полученных конкретных геофизических параметров, но и о важности геологического подхода при интерпретации результатов геофизических исследований скважин.

Основные принципы научно обоснованной интерпретации материалов ГИС были сформулированы В. Н. Дахновым. Для интерпретации результатов геофизических исследований скважин необходимо знать:

- 1) физические свойства горных пород и буровых растворов;
- 2) зависимость измеряемых параметров от этих свойств;
- 3) методику перехода от параметров, измеряемых в скважине, к физическим свойствам горных пород;
- 4) совокупность физических свойств пород и измеряемых параметров, позволяющих однозначно выделять породы и полезные ископаемые, пройденные скважиной;
- 5) зависимость конфигурации кривых измеряемых параметров от условий залегания пород;
- 6) способы определения содержания полезных и вредных компонентов в металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Следует отметить, что при литологическом изучении разрезов скважин и выделении полезных ископаемых в ряде случаев важны не столько абсолютные значения тех или иных параметров, сколько их соотношения. При интерпретации материалов ГИС используются наборы типичных геофизических параметров, полученных теоретическим и эмпирическим путем. На рис. 1 представлены наиболее типичные аномалии на диаграммах каротажа для некоторых широко распространенных в разрезе платформенного чехла пород и полезных ископаемых.

Ниже рассматриваются способы выделения полезных ископаемых по данным ГИС для основных их группировок. В качестве таких группировок приняты: 1) песчано-глинистые породы; 2) карбонатные породы; 3) фосфатное сырье; 4) полезные ископаемые эвапоритовых формаций; 5) твердые горючие ископаемые; 6) промышленное сырье; 7) металлические полезные ископаемые.

ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Глины представляют собой тонкодисперсные горные породы, состоящие в основном из слоистых или псевдослоистых водных алюмосиликатов. В их составе преобладают частицы с размерами 0,01-0,001 мм. Содержание частиц диаметром менее 0,001 мм достигает 25-30 %. Глины чаще всего полиминеральны, но могут быть почти мономинеральными. Выделяют следующие группы глинистых минералов, отличающихся между собой по 32

кристаллической структуре и составу. 1) аллофановую; 2) каолиновую; 3) монтмориалонитовую; 4) гидрослюдастую; 5) хлоритовую; 6) палыгор-скитовую. Различают также минералы-сростки - монотермит,

бейделлит. Неглинистые минералы в глинах представлены кварцем, пиритом, лимонитом, гематитом, марказитом, сидеритом, магнетитом; встречаются остатки неразложившихся полевых шпатов, турмалин, глауконит, фосфаты, гипс и др. Главные химические компоненты глин (%): SiO_2 - 30-70; Al_2O_3 - 10-40; H_2O - 5-15. К обычным примесям относятся оксиды: Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 , K_2O , Na_2O , CaO , MgO , P_2O_5 , а также SO_3 и CO_2 .

Глины и глинистые породы. По данным каротажа, группа глинистых пород (собственно глины, аргиллиты и глинистые сланцы) выделяется однозначно, благодаря своим специфическим геофизическим свойствам (рис. 2). На диаграммах кажущегося сопротивления (КС) глины отмечаются низким удельным электрическим сопротивлением - от 1 до 20 Ом, реже более высокими величинами. Сопротивление глин повышается: 1) с глубиной (уменьшается их пористость и влажность); 2) с уменьшением степени отсортированности; 3) с увеличением содержания карбонатного и кремнистого цемента. На диаграммах потенциалов $U_{сп}$ собственной поляризации пород в условиях, когда удельное сопротивление фильтрата бурового раствора больше удельного сопротивления пластовых вод, против глин наблюдаются положительные аномалии.

Естественное гамма-излучение у глин выше, чем у других осадочных пород. Глины, как известно, относятся к породам, характеризующимся высокой радиоактивностью, которая обусловлена в основном их способностью сорбировать радиоактивные элементы. На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-методов глины выделяются пониженными показаниями, что обусловлено наличием увязанной или кристаллизационной воды. Чем выше влажность глинистых пород и больше их пористость, тем более глубокие наблюдаются минимумы.

Скорость распространения упругих волн у глин больше, чем у песков, но меньше, чем у песчаников. На кавернограммах слои и пласты глин отмечаются, как правило, увеличением диаметра скважины, что обусловлено способностью глин набухать в результате их взаимодействия с циркулирующим буровым раствором и образовывать вывалы. При этом в отличие от пластов легкорастворимых солей (например, каменной соли), которые в случае их растворения образуют каверны с относительно ровной поверхностью, глинистые пласты на кавернограммах нередко имеют характерную "пилообразную" форму.

Аргиллиты и глинистые сланцы характеризуются геофизическими параметрами, близкими к глинам. От глин они отличаются более высоким удельным сопротивлением (достигающим 50 Ом-м), более высокими и. жителями аномалиями потенциала СП и несколько повышенными показаниями на диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма каротажа.

Пески и песчаники на диаграммах потенциалов СП при запегании их среди глин выделяются, как правило, отрицательными резкими аномалиями. Величины этих аномалий уменьшаются с увеличением глинистости песков. Во всех случаях (при $p_f > p_v$ или $p_f < p_v$) линии песчаников (песков) и ли-

нии глин занимают на кривых СП диаметрально противоположное положение. На диаграммах КС песчаные пласты могут отражаться по-разному. Пласты, насыщенные минерализованной водой, имеют низкое сопротивление, величины которого в зависимости от пористости и минерализации пластовых вод изменяются от десятых долей до нескольких ом-метров. При насыщении песчаных пластов нефтью либо слабоминерализованной водой их удельное сопротивление возрастает во много раз.

Естественное гамма-излучение песков и песчаников невелико, поэтому на диаграммах ГК они выделяются, как правило, минимумами. Это обусловлено тем, что в большинстве регионов по составу преобладают кварцевые или кварц-полевошпатовые минеральные разности, которые относятся к породам низкой радиоактивности. Полимиктовые, глауконитовые и монацитовые пески и песчаники характеризуются повышенными или высокими показаниями на диаграммах гамма-каротажа. В условиях Беларуси относительно повышенными показаниями отличаются глауконитово-кварцевые пески киевского и харьковского ярусов патеогена.

На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-каротажа пески и песчаники по сравнению с глинистыми породами отмечаются более высокими значениями регистрируемых параметров. Использование методов нейтронного каротажа, гамма-каротажа и потенциалов СП позволяет уверенно отличать радиоактивные разности песков и песчаников от глин.

На кавернограммах рыхлые пески-плывуны могут отмечаться увеличением диаметра скважины, напротив, хорошо проницаемые и плотные пески и песчаники - уменьшением диаметра в связи с образованием на стенках глинистой корки. Пласты плотных песчаников характеризуются номинальным диаметром скважины.

В целом геофизические характеристики песчаников и песков близки, но имеются и определенные различия, позволяющие отличать песчаники от песков: 1) более высокое удельное сопротивление, возрастающее с увеличением плотности и цементации песчаников; 2) повышенная диффузионно-адсорбционная активность (амплитуды аномалии $\Delta U_{сп}$ тем меньше, чем более сцементирован песчаник глинистым цементом); 3) повышенная интенсивность I_{ny} , возрастающая с уменьшением пористости и повышением цементации песчаников кремнистым и известковистым цементом; 4) снижение значений интенсивности рассеянного гамма-излучения $I_{\gamma\gamma}$ на диаграммах ГТК-п (особенно для плотных ожелезненных песчаников).

Наиболее эффективно расчленение песчано-глинистого разреза выполняется при комплексной обработке материалов микрозондов, кавернометров, данных ядерно-геофизических, сейсмоакустических и других методов геофизических исследований скважин.

КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Карбонатные породы сложены главным образом карбонатами кальция, магния, реже железа. Они широко распространены в земной коре, состав для более 15 % ее массы. Среди них наиболее широко представлены осадочные

образования - известняки, доломиты, мергели, мел, травертины и другие, реже встречаются метаморфические (мраморы) и магматические (карбонатиты).

Стандартный комплекс геофизических исследований скважин и обычная методика интерпретации каротажных диаграмм обеспечивают надежное выделение в глинисто-карбонатном разрезе пластов известняков (доломитов), мергелей и глин. Карбонатные породы характеризуются, как правило, высоким удельным сопротивлением, которое может варьировать от единиц и десятков до нескольких тысяч ом-метров. Особенно высокими показателями выделяются окремненные известняки. Минимальное сопротивление наблюдается в высокопористых, кавернозных, доломитизированных известняках, а также в ракушечниках в условиях насыщения этих пород-коллекторов высокоминерализованными водами. Известняки и доломиты, залегающие среди глин и мергелей, отмечаются отрицательными аномалиями на диаграммах потенциалов СП.

На диаграммах ГК известняки и доломиты характеризуются низкими значениями I_γ , возрастающими с увеличением содержания глинистого материала. На диаграммах нейтронных методов эти породы отмечаются высокой интенсивностью вторичного гамма-излучения (I_{ny}) и повышением интенсивностей счета $I_{пт}$ и $I_{пн}$. В кавернозных и высокопористых разностях эти величины существенно снижаются. Интенсивность рассеянного гамма-гамма-излучения ($I_{\gamma\gamma}$) в известняках, особенно доломитах, низка и возрастает с увеличением их пористости и кавернозности.

Карбонатные породы отличаются высокими скоростями распространения упругих волн и очень низкими значениями магнитной восприимчивости. На кавернограммах в плотных карбонатных породах диаметр скважины, номинален. В карстовых полостях диаметр скважин резко увеличивается.

Сильноглинистые карбонатные породы и мергели отмечаются заметным снижением удельного сопротивления, уменьшением интенсивности вторичного гамма-излучения (I_{ny}) и интенсивностей счета ($I_{пт}$ и $I_{пн}$), заметным увеличением естественного гамма-излучения (I_γ), снижением скоростей распространения упругих волн.

Пример изучения карбонатных пород различными методами ГИС дан на рис. 3. По данным гамма-каротажа, против глинистых разностей известняков наблюдается некоторое увеличение I_γ , снижение сопротивления на диаграммах КС, снижение I_{ny} на кривой НТК и повышение интенсивности рассеянного гамма-гамма-излучения ($I_{\gamma\gamma}$) в связи с уменьшением плотности и увеличением времени распространения упругих волн Δt на кривой акустического каротажа.

Мел, благодаря своим специфическим свойствам (низкая естественная радиоактивность, высокая пористость), однозначно выделяется на диаграммах стандартного комплекса (рис. 4). Интенсивность I_γ писчего мела низкая и не превышает 2—3 γ . На диаграммах КС по сравнению с глинами отмечаются несколько более высокие показания. Увеличения диаметра скважины

практически не наблюдается. Показания нейтронных методов против пластов мела примерно такие же, как и против глин, и значительно ниже, чем у песков и песчаников. На диаграммах ГГК-п в связи с высокой пористостью мел выделяется повышенными значениями.

ФОСФАТНОЕ СЫРЬЕ

Группу фосфатного сырья составляют два вида полезных ископаемых - апатиты и фосфориты. В мировом балансе добываемого фосфатного сырья главная роль принадлежит фосфоритовым рудам (около 80 %).

Основным компонентом апатитовых руд является минерал апатит, представляющий собой безводный фосфат кальция – $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Господствующей разновидностью апатита в большинстве горных пород является фтор апатит и фтор гидроксил апатит. Для кор выветривания более характерен фтор карбонат апатит (франколит).

Опыт применения геофизических методов при поисках и разведке фосфатного сырья в СНГ, в том числе в Беларуси, небольшой. Выполненные рядом исследователей (Ю. М. Рудык, М. Г. Крутиков, И. А. Зыков и др.) работы по изучению закономерностей изменения степени радиоактивности фосфоритов позволили установить следующее: 1) фосфориты платформенные (как морские, так и континентальные) более радиоактивны, чем фосфориты геосинклинальные; 2) для большей части месторождений существует четкая корреляционная связь P_2O_5 с ураном; 3) помимо урана в фосфатных соединениях встречается другой радиоактивный элемент - стронций.

При проведении поисковых и разведочных работ на месторождениях фосфоритов в Беларуси в ряде случаев выполнялся комплекс геофизических исследований скважин, позволяющий уверенно выделять фосфориты в разрезе терригенно-карбонатных толщ. Благодаря своей высокой естественной радиоактивности, желваковые фосфориты уверенно отличаются на диаграммах ПС высокими значениями I_γ от вмещающих песчаных (преимущественно кварцевых) и карбонатных (мел) пород (рис. 5). Глинистые разности фосфоритов по сравнению с желваковыми (даже в случае невысокого содержания желваков в песках) выделяются пониженными значениями удельного сопротивления ρ_k .

Наиболее объемный и эффективный комплекс ГИС был применен при опробовании скважин пластовых фосфоритов месторождений бассейна Малого Каратау в Казахстане. На основе многомерного корреляционного анализа данных химических анализов фосфоритов месторождений Коксу, Кокджона и других было установлено, во-первых, что фтор и фосфор теснейшим образом коррелируются, во-вторых, что нерастворимый остаток в основном состоит из SiO_2 и, в-третьих, что существует теснейшая парагенетическая связь между фосфатным веществом, карбонатами и силикатами, позволяющая по известному количеству фосфора и нерастворимого остатка определять содержание карбонатов или суммарное содержание фосфатного и карбонатного кальция.

Для регистрации излучения применялся гамма-каротаж с использованием пороговой гамма-спектрометрической аппаратуры, для определения фтора - нейтронно-активационный каротаж (НАК- ^{16}N), кремния - НАК на кремний. Кроме того, выполнялись плотностной гамма-гамма-каротаж (ГТК-п), нейтрон-нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам (ННК-нт) и кавернометрия.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЭВАПОРИТОВЫХ ФОРМАЦИЙ

С эвапоритовыми формациями связаны разнообразные полезные ископаемые: гипс, ангидрит, каменная соль, калийные и калийно-магниевые, сульфатные и бессульфатные соли. Среди калиеносных морских формаций выделяются формации двух типов - хлоридного и сульфатного. Калийные отложения формаций первого типа сложены в основном сильвинитами и карналлитами, а второго - калийными залежами полиминерального состава, представленными водными и безводными хлоридами и сульфатами калия, магния и кальция. В геологической истории Земли наиболее масштабно и интенсивно проявилась хлоридная ветвь осадконакопления.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) - осадочная порода, образующаяся на начальных стадиях галогенеза в процессе сгущения морской воды или ее дериватов (реже в континентальных условиях). Гипсы широко распространены в разрезах эвапоритовых формаций хлоридного типа. Наиболее мощные пачки они слагают в нижней и верхней частях разреза формаций и на антиклинальных куполовидных структурах.

На кривой сопротивления гипсы выделяются как однородные пласты высокого сопротивления (сотни и даже тысячи ом-метров) и легко отличимы от других пород (рис. 7). Они характеризуются минимальной естественной гамма-активностью (около 2 μr). Относительно повышенные значения I_γ обусловлены присутствием в гипсах глинистого материала или прослоев глинисто-карбонатных и глинистых пород. На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-методов гипсы выделяются пониженными показаниями (даже по сравнению с мергелями), что связано с наличием в их составе кристаллизационной воды. Амплитуды аномалий $\Delta U_{\text{сн}}$ на диаграммах потенциалов собственной поляризации по отношению к глинам и мергелям незначительны. На кавернограммах против пластов гипса в одних случаях наблюдается незначительное увеличение диаметра скважины, в других - он практически не изменяется, т. е. равен номинальному.

Ангидрит (CaSO_4) - безводный сульфат кальция. Кристаллизуется в ромбической сингонии, однако правильные кристаллы его редки, чаще представлен сплошными зернистыми агрегатами. Гипс и ангидрит связаны между собой парагенетически, и нередко гипс переходит в ангидрит и, наоборот, ангидрит - в гипс, особенно в приповерхностных условиях в зоне гипергенеза

Удельное сопротивление пластов ангидрита высокое, значительно выше, чем у гипсов. На кривой ГК они так же, как и гипсы, характеризуются минимальными значениями I_γ , которые близки к естественному фоновому излучению. На диаграммах НГК, ННГК-т и ННК-нт против пластов

ангидрита наблюдается резкое возрастание соответственно $I_{\text{пг}}$ и интенсивностей счета $I_{\text{пт}}$ и $I_{\text{пн}}$. Ангидриты, как более плотные породы по сравнению с гипсом, отмечаются на кривых ГГК-п минимальными значениями $I_{\gamma\gamma}$. Фактический диаметр скважин против ангидритовых пластов и пачек равен номинальному.

Каменная соль - важнейшее полезное ископаемое эвапоритовых формаций. Гачит слагает мощные пачки (до 100 м и более) и развит в виде фистачлически-зернистых агрегатов как мономинеральных, так и в сочетании с другими соляными минералами. Он является постоянным компонентом всех соляных отложений, образующихся в процессе галогенеза, начиная с галитовой стадии и кончая практически эвтоникой. Чистый гачит прозрачен и бесцветен, обладает стеклянным блеском. Примеси окрашивают его в различные цвета - серый, желтый, розовый, красный, бурый и иные. Гачит легко растворим в воде. При растворении поглощает тепло. С повышением температуры растворимость гачита повышается слабо. Расплавы и растворы галита высокоэлектропроводны.

Каменная соль на кавернограммах отражается по-разному. В случае если бурение проводилось с использованием бурового раствора, насыщенного NaCl, то значительного увеличения диаметра скважин не наблюдалось. При применении буровых растворов или промывочных жидкостей, не насыщенных NaCl, происходит значительное увеличение диаметра скважины (рис 15). Наличие глубоких каверн оказывает влияние на показания различных методов, существенно искажая измеряемые параметры.

На диаграммах КС каменная соль (при номинальном диаметре скважины или незначительном его увеличении) выделяется более высоким удельным сопротивлением, чем ангидриты, гипсы, известняки и доломиты. На кривой ГК чистые ее разности отмечаются минимальными значениями I_{γ} , близкими к естественному фоновому излучению. При наличии примеси глинистого материала, вкрапленников сильвина или карналлита, а также прослоев галопелитов гамма-активность пластов и пачек каменной соли может увеличиваться до 3-4 γ . На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-каротажа каменная соль, благодаря аномально высокой ее способности захватывать тепловые нейтроны, выделяется максимальными значениями $I_{\text{пг}}$, $I_{\text{пт}}$, и $I_{\text{пн}}$. На диаграммах ГГК-п пласты каменной соли отмечаются более высокими значениями по сравнению с ангидритами. Из всех пород, составляющих эвапоритовые формации, лишь каменная соль выделяется уверенно и однозначно даже при ограниченном комплексе ГИС, включающем электрокаротаж, гамма-каротаж, нейтронный гамма-каротаж и кавернометрию.

Сильвинит (KCl + NaCl) - соляная порода, состоящая из кристаллически-зернистой смеси галита (25-85 %) и сильвина (15-60 %). В породе почти всегда присутствует примесь глинистого материала, кальцита, доломита, ангидрита и других минералов. Сильвинит нередко содержит включения карналлита, а в соленосных формациях сульфатного типа - также полигалит, кизерит, каинит, лангбейнит и др. Порода имеет молочно-белую, пе-

строцветную и красную окраску. В Беларуси в Припятском прогибе доминируют сильвиниты красноцветной ассоциации. Сильвиниты обычно образуют пластовые залежи мощностью от нескольких метров до 20-30 м и более или же калиеносные зоны (до 50-100 м и более). Парагенетически сильвиниты тесно связаны с пластами каменной соли, в разрезах которых обычно приурочены к средним или верхним их частям.

На диаграммах гамма-каротажа сильвиниты, благодаря наличию радиоактивного изотопа ^{40}K , выделяются высокой интенсивностью I_γ , превосходящей интенсивность гамма-излучения в глинах (рис. 9). По высоким значениям I_γ они легко отличаются от вмещающих пластов каменной соли. На диаграммах нейтронного гамма-каротажа они так же, как и каменная соль, выделяются высокими значениями $ln\gamma$. Против сильвинитовых слоев на кавернограммах фиксируется некоторое увеличение диаметра скважины, что обусловлено более высокой их растворимостью, чем каменной соли. На диаграммах ГТК-п сильвиниты отличаются более высокими значениями I_γ по сравнению с каменной солью. Это связано не столько с более низкой объемной плотностью сильвинитов (она примерно такая, как у каменной соли), сколько с образованием каверн против сильвинитовых слоев (в связи с малой глубинностью метода ГТК-п эти каверны создают аномалии).

Карналлит ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - калийно-магниевый хлоридный минерал, широко распространенный в калиеносных формациях. Характерен псевдогексагональный, боченовидный, реже толстотаблитчатый габитус кристаллов. Минерал бесцветный, белый, лимонно-желтый, оранжево-красный, сургучно-красный, иногда фиолетовый. Минерал гигроскопичен, легко растворим и расплывается во влажной атмосфере. Объемная плотность его $1,6 \text{ г/см}^3$, что значительно ниже по сравнению с сильвином и галитом. В процессе галогенеза кристаллизуется вслед за сильвином (в карналлитовую стадию сгущения рапы) и поэтому парагенетически тесно связан с сильвинитовыми (или сульфатно-магниевыми) горизонтами, слагая чаще всего верхние части их разрезов, реже средние. Нередко карналлит образует самостоятельные горизонты в разрезах эвапоритовых формаций.

В связи с наличием в составе карналлита радиоактивного изотопа ^{40}K на диаграммах ГК этот минерал характеризуется увеличением интенсивности естественного гамма-излучения. Однако интенсивность I_γ карналлитовых пород несколько ниже, чем сильвинитов (рис. 10). Благодаря высокой гигроскопичности, карналлит в процессе воздействия на него бурового раствора (насыщенного даже KCl , а в некоторых случаях и MgCl_2) способен образовывать каверны значительного размера. Поэтому даже в поисковых и разведочных скважинах на калийные соли, пробуренных с использованием специальной технологии, карналлитовые породы нередко размываются и характеризуются низким выходом керна.

Карналлит уверенно выделяется на диаграммах ГТК-п повышенными показаниями $I_{\gamma\gamma}$. Это обусловлено двумя причинами: во-первых, плотность карналлитовых пород значительно ниже, чем сильвинитов и каменной соли,

во-вторых, против карналлитовых слоев образуются значительные каверны, что способствует появлению положительных аномалий. На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-каротажа карналлитовые породы, содержащие в большом объеме кристаллизационную воду, выделяются аномально низкими показаниями $I_{\text{пт}}$, $I_{\text{пн}}$ и $I_{\text{н}\gamma}$.

Выделение карналлитовых пластов и горизонтов по данным материалов стандартного комплекса геофизических исследований, применяемого в нефтепоисковых и других глубоких скважинах Припятского прогиба, затруднено. Это обусловлено тем, что по данным ГК и НТК они характеризуются практически такими же величинами, как и карбонатно-глинистые пласты. Несколько более информативны кривые КС (особенно записанные потенциал-зондом) и кавернограммы. Однако в случае корреляции бескерновых разрезов нефтепоисковых скважин с типовыми (или с разрезами поисковых скважин на калийные соли) эта задача решается достаточно надежно.

Бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - магниевый-хлоридный минерал, встречающийся в эвапоритовых формациях. Кристаллизуется в моноклиальной сингонии. Характерны короткопризматические, листоватые и волокнистые кристаллы. Минерал бесцветный, желтоватый, кремовый, иногда с розовым оттенком. Объемная плотность $1,6 \text{ г/см}^3$. Бишофит чрезвычайно гигроскопичен, легко растворим и расплывается во влажной атмосфере. Кристаллизуется на заключительной стадии галогенеза вслед за карналлитом. Парагенетически тесно связан с карналлитом, кизеритом и сульфатно-магниевыми калийными солями. Встречается также в калиеносных формациях хлоридного типа, в которых парагенетически связан с карналлитовыми горизонтами. В большинстве регионов мира (Прикаспийская впадина. Среднеевропейский цехштейновый бассейн, бассейны Габона. Конго, Сержи-Алагоас и др.) бишофитовые залежи выявлены, как правило, при проведении поисковых работ на нефть и газ. Мощность пластовых залежей колеблется от нескольких метров до 50—100 м и более.

Важнейшими критериями для диагностики бишофита по ГИС являются данные гамма-каротажа и кавернометрии (рис. 11). В связи с чрезвычайно высокой растворимостью против пластов бишофита фиксируются аномально глубокие каверны (более глубокие, чем у карналлина). На диаграммах ГК бишофит выделяется аномально низкими значениями I_{γ} , что обусловлено отсутствием в составе этого минерала соединений калия. На диаграммах нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-методов бишофитовые породы, содержащие в больших объемах кристаллизационную воду, отмечаются пониженными значениями. Учитывая тот факт, что бишофит парагенетически связан с карналлитовыми породами, основной задачей является диагностика бишофитовых слоев и пластов в составе карналлитовых горизонтов. Эти минералы различаются по составу, что позволяет однозначно их диагностировать даже с помощью комплекса геофизических исследований, применяемого в нефтепоисковых скважинах.

ТВЕРДЫЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Группа твердых горючих ископаемых представлена каменными углями, бурыми углями, погребенным торфом и горючими сланцами. По исходному органическому веществу, условиям его накопления и последующего геологического изменения между всеми горючими ископаемыми существует генетическая связь. Угленосные толщи имеют циклическое строение и характеризуются нередко чередованием морских и континентальных отложений. Однако в большинстве случаев они являются, как правило, континентальными образованиями.

Каменные и бурые угли - важнейшие полезные ископаемые, имеющие большое экономическое значение. Основным показателем качества углей является степень их метаморфизма. По принятому для всех бассейнов бывшего СССР единому ГОСТу 25543-82, ископаемые угли по величине отражения витринита, теплоте сгорания влажного беззольного топлива и выходу летучих веществ подразделяются на бурые (марки Б₁, Б₂, Б₃), каменные (марки Д₁ Д₂, Г, Ж, К, ОС, Т₁, Т₂), антрациты (ПА₁ ПА₂, А₁-А₆).

На основании выявленных закономерностей количественных изменений физических свойств угленосных пород и углей все угольные месторождения подразделяются на четыре класса. Первый класс включает буроугольные месторождения (марки Б₁-Б₃). Ко второму, самому многочисленному классу, относят месторождения следующих стадий метаморфизма углей: переходные к каменным (Б-Д), длиннопламенные (Д₁, Д₂), газовые (Г), жирные (Ж), коксовые (К), отощенноспекающиеся (ОС) и тощие (Т₁), к третьему - тощие угли (Т₂) и часть месторождений полуантрацитов (ПА₁-переходные угли) и к четвертому - месторождения с пластами антрацита (А₁-А₆).

Бурые угли, относящиеся к первому классу угольных месторождений, надежно выделяются по рациональному комплексу ГИС, применяемому при разведке месторождений углей. Для решения этой задачи используются методы КС, ГК, нейтронные методы, кавернометрия и др. Наибольшее распространение получили различные модификации ГТК. Пример выделения пластов бурого угля на одном из месторождений Беларуси показан на рис. 12. На этом месторождении бурые угли приурочены к разрезу песчано-глинистой толщи. Пласты бурого угля однозначно выделяются на диаграммах ГТК-с аномально высокими значениями. На диаграммах ГК эти пласты отмечаются минимальными показаниями (2-3,5 γγ).

ПРИЛОЖЕНИЕ

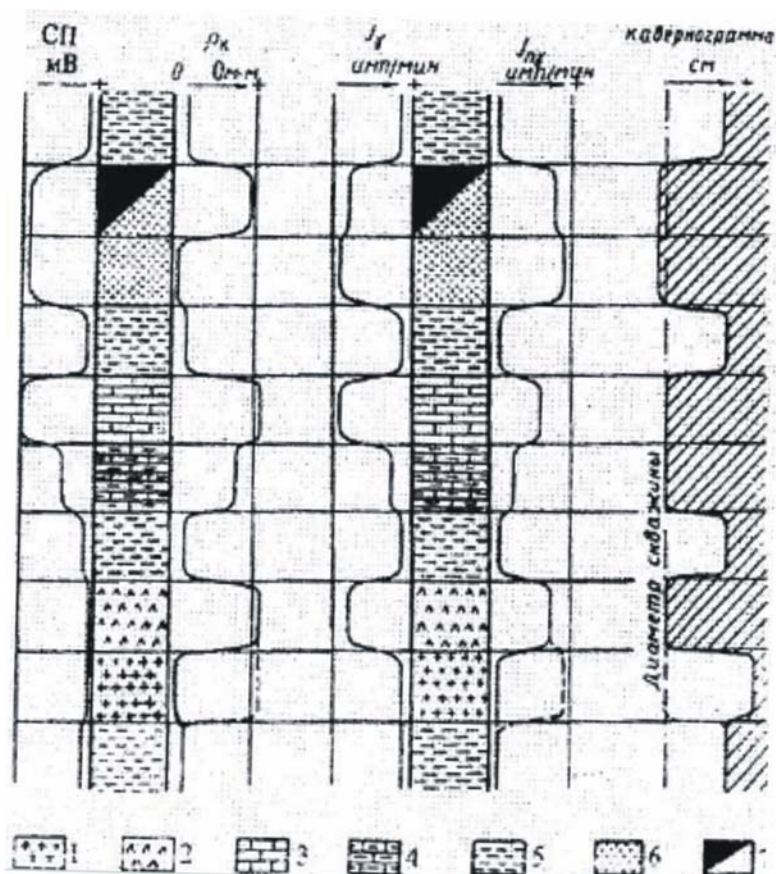


Рис. 1. Характеристики различных горных пород по геофизическим параметрам (по В. А. Долюницкому):
 1 – каменная соль; 2 – ангидрит; 3 – известняк, доломит; 4 – глинистый известняк или доломит; 5 – глина; 6 – песок; 7 – нефтеносная порода.

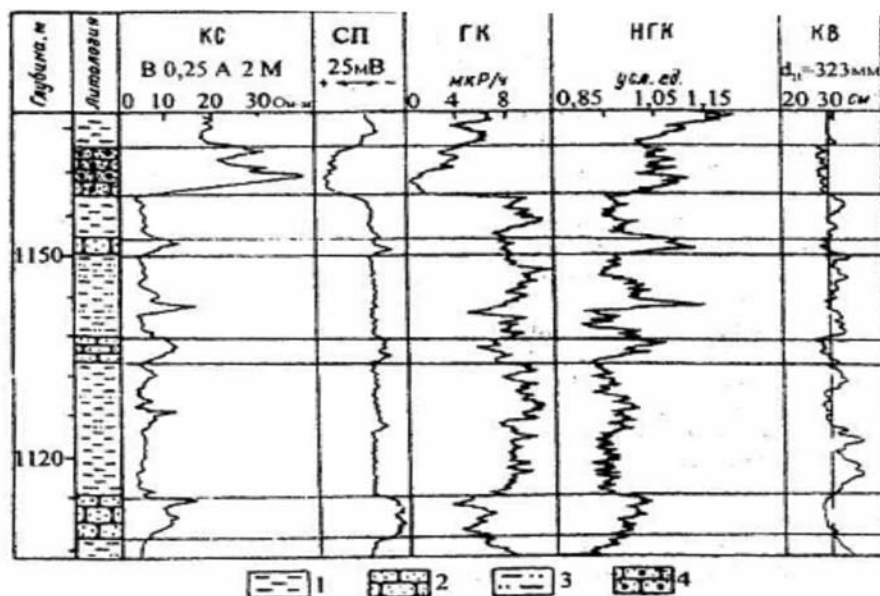


Рис. 2. Выделение в разрезе глинистых и песчаных пород по комплексу промыслово-геофизических данных (по С. С. Итенбергу):
 1 – глина; 2 – песчаник; 3 – глина песчанистая; 4 – песчаник нефтеносный.

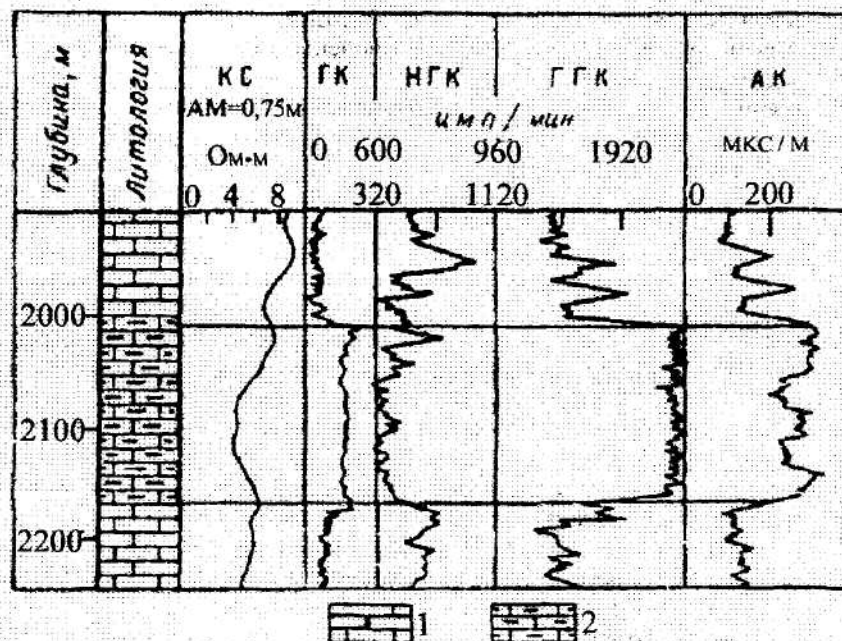


Рис. 3. Пример комплексного геофизического исследования карбонатного разреза (по С. С. Итенбергу):

1 – известняк плотный малопористый; 2 — глинистый известняк.

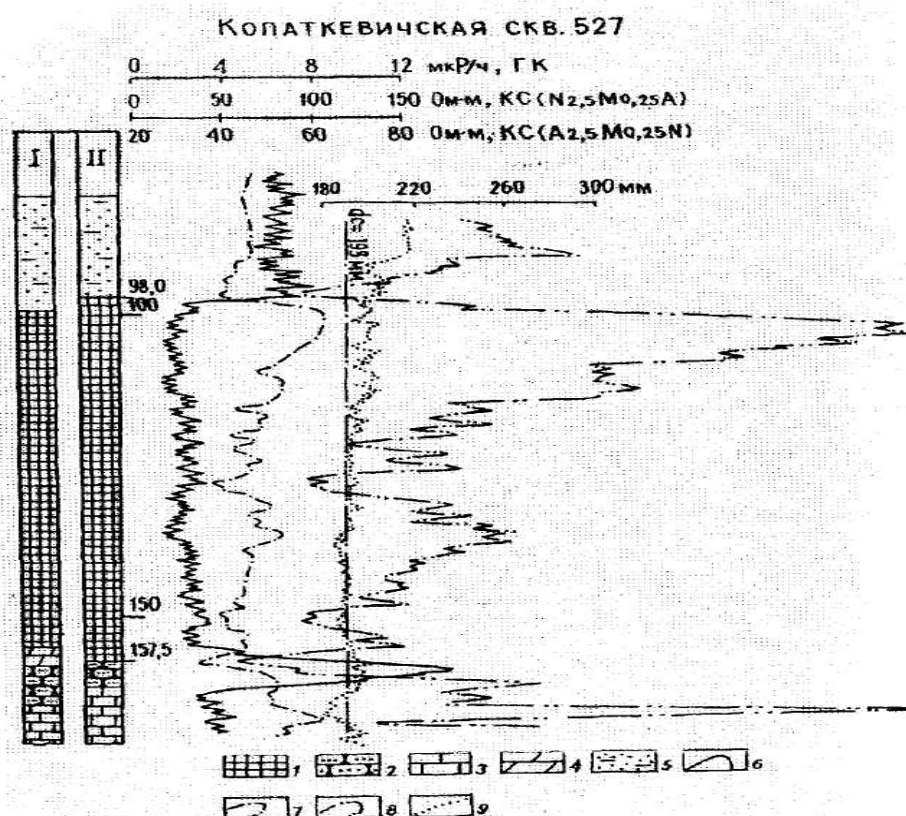


Рис. 4. Выделение пластов мела по комплексу ГИС. Припятский прогиб, Копаткевичская площадь:

1 – мел; 2 – песчаник; 3 – известняк; 4 – мергель; 5 – песок с прослоями и включениями глины; 6 – кривая ГК; 7 – кривая КС (N 2,5 M 0,25 A); 8 – кривая КС (A 2,5 M 0,25 N); 9 – кавернограмма. I – разрез по керну; II – разрез по каротажу.

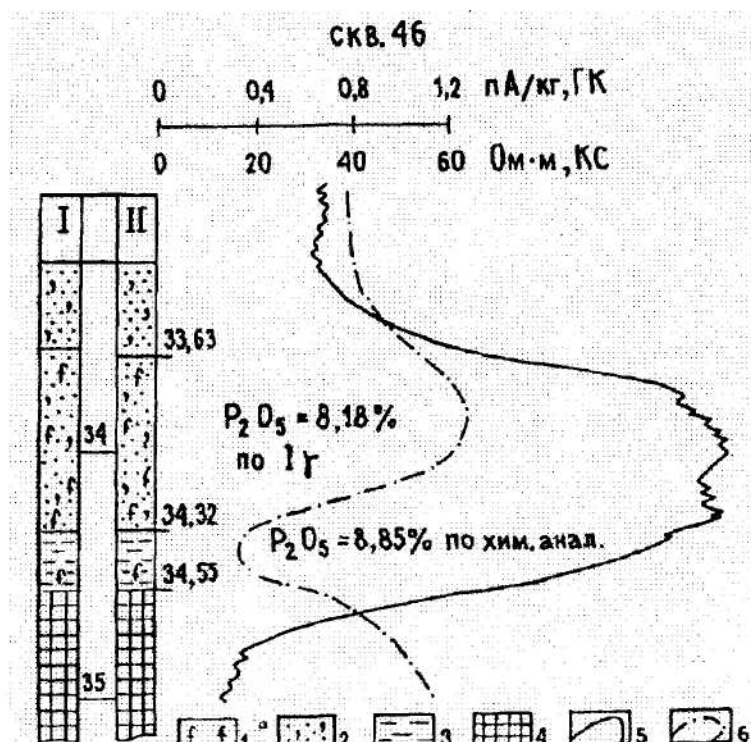


Рис. 5. Выделение фосфоритосодержащих отложений по ГИС. Ореховское месторождение Желваковых фосфоритов, Брестская обл. (по В. А. Вечеру):

1 – фосфориты; 2 – глауконито-кварцевый песок; 3 – глины; 4 – мел; 5 – кривая ГК; 6 – кривая КС (потенциал-зонд).

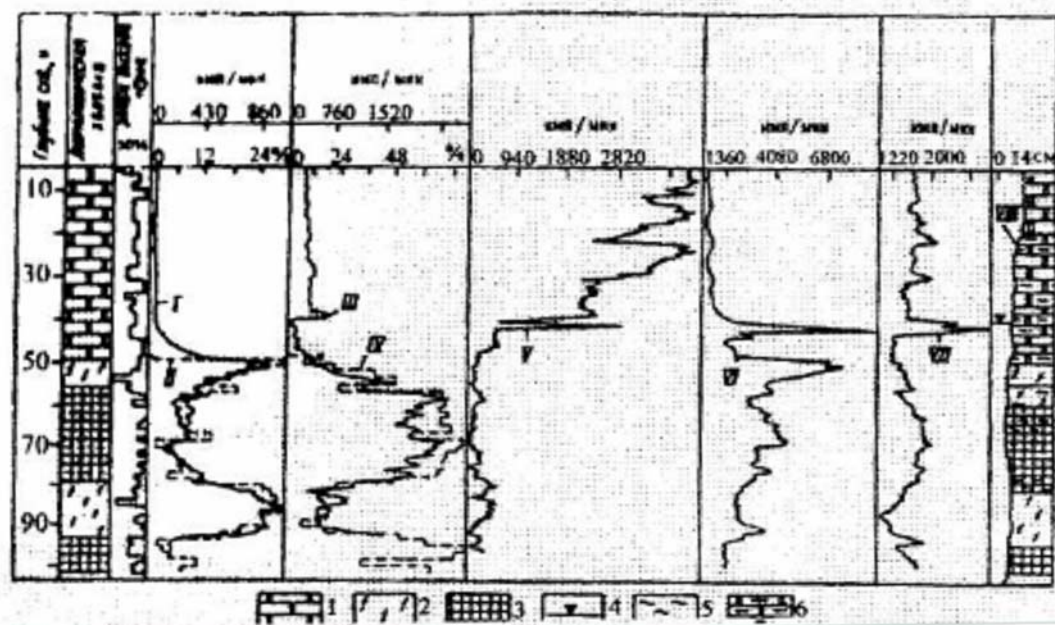


Рис. 6. Геологический(слева) и геофизический (справа) разрезы по одной из скважин фосфоритового месторождения Коксу и данные каротажа (по И. П. Кошелеву и др.):

I – диаграмма НАК на фтор; II – содержание P_2O_5 в пробах керна (в %); III – диаграмма НАК на кремний; IV – содержание нерастворимого остатка в пробах керна (в %); V – диаграмма ННК-нт; VI – диаграмма ГК; VII – диаграмма ГГК-п; VIII – кавернограмма с отметкой уровня грунтовых вод. 1 – доломиты; 2 – фосфориты; 3 – фосфатно-кремнистые сланцы; 4 – отметка уровня грунтовых вод; 5 – сланцы; 6 – доломиты с повышенной радиоактивностью.

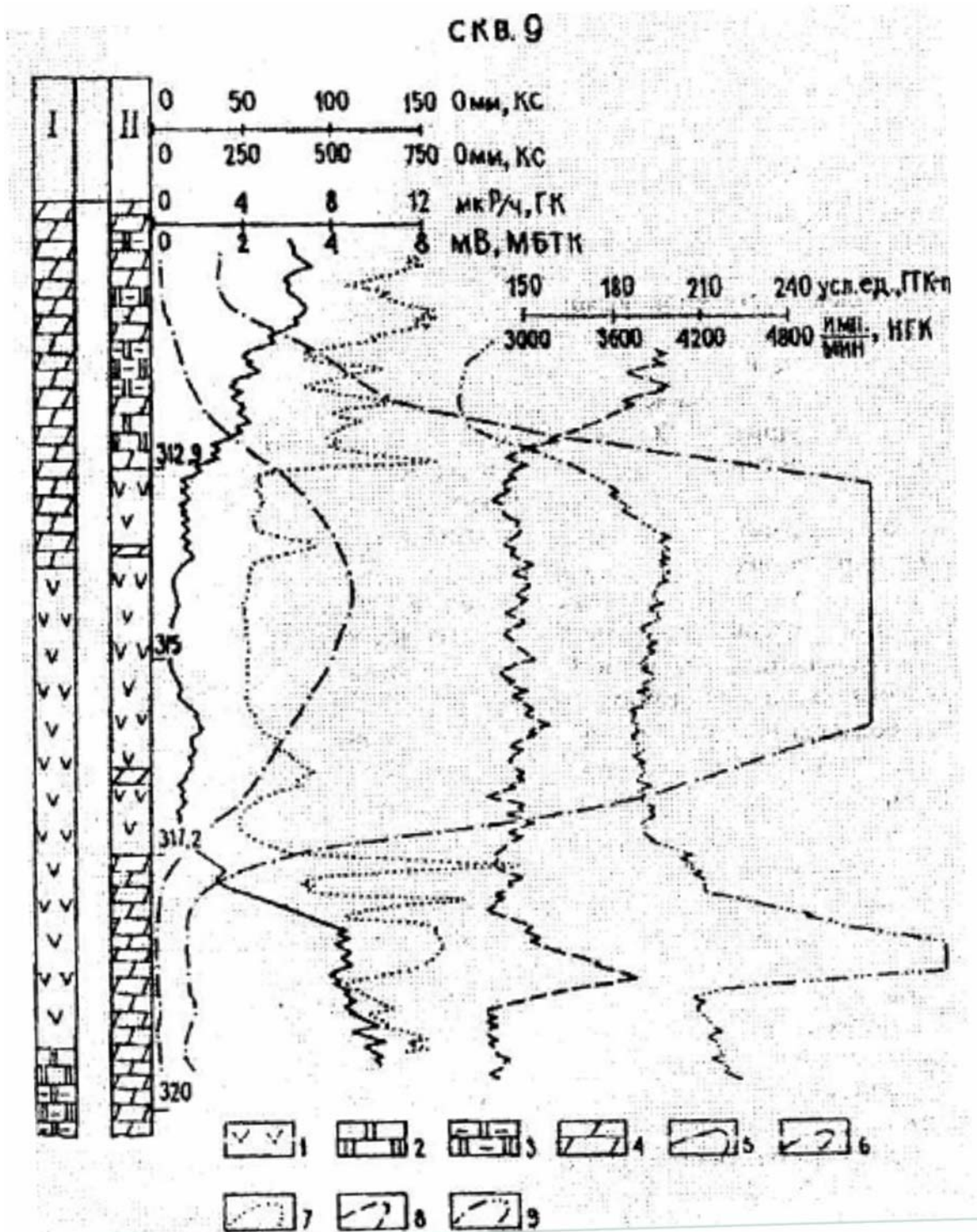


Рис. 7. Выделение пластов гипса по ГИС. Бриневское месторождение гипса (D^2_{3fm}):
 1 – гипс; 2 – доломит; 3 – доломит глинистый; 4 – мергель; 5 – кривая ГК; 6 – кривая КС; 7 – кривая МБКТ; 8 – кривая НГК; 9 – кривая ГГК-п I – разрез по керну; II – разрез по каротажу.

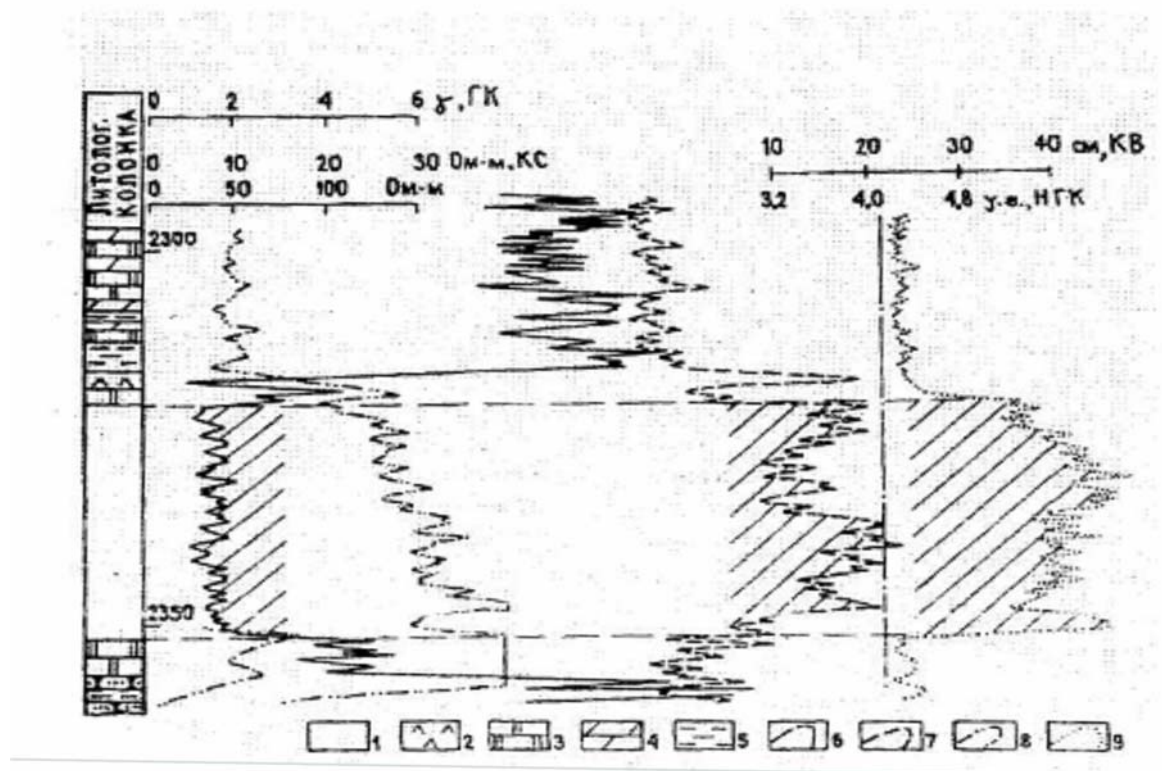


Рис. 8. Выделение пластов каменной соли по ГИС. Припятский прогиб, Ковчицкая площадь (D₂).

1 – каменная соль; 2 – ангидрит; 3 – доломит; 4 – мергель; 5 – глина (аргиллит); 6 – кривая ГК; 7 – кривая НГК; 8 – кривая КС (А 2,5 М 0,5 N); 9 – кавернограмма.

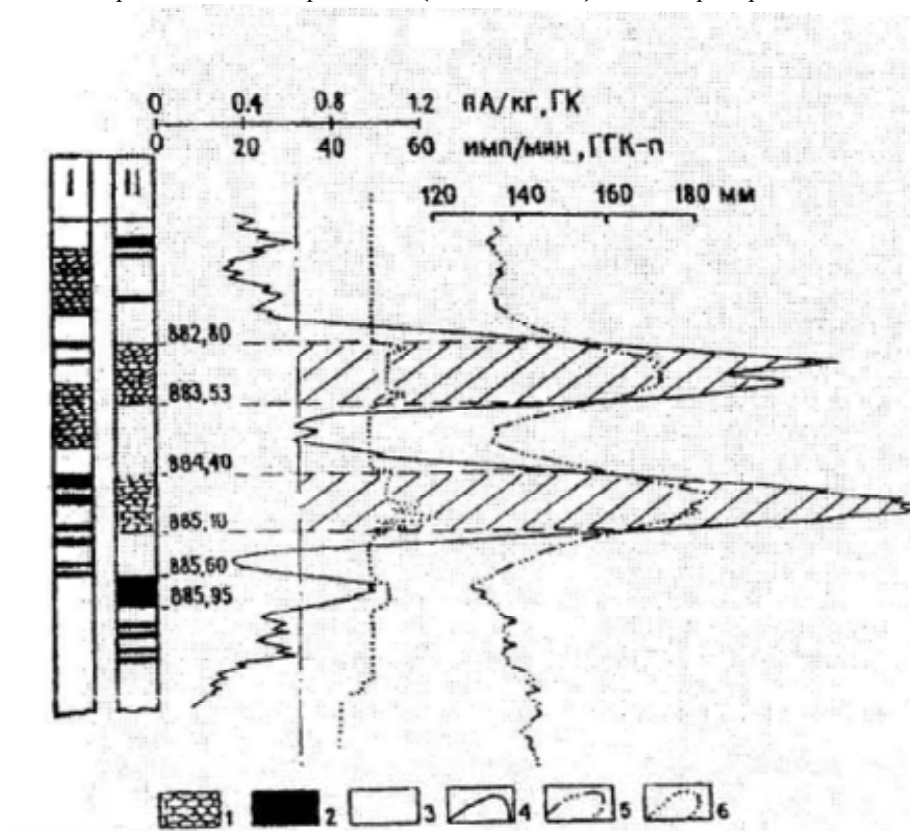


Рис. 9. Выделение сальвинитовых слоев по ГИС. Смоловская площадь. II калийный горизонт (D₃^{fm}):

1 – сальвинит; 2 – галопелиты; 3 – каменная соль; 4 – кривая ГК; 5 – кривая ГГК-п.

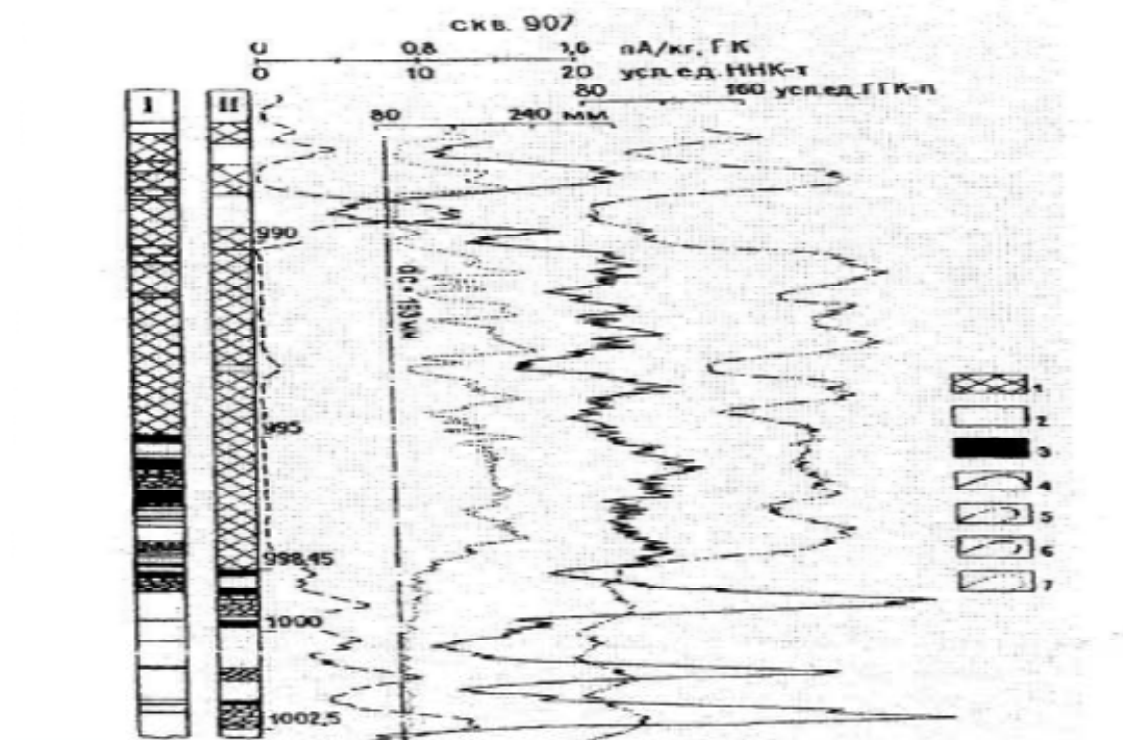


Рис.10. Выделение карналлитовых пород по ГИС. Октябрьское месторождение калийных солей, горизонт 0-7 (D_3^{fm}):

1 – карналлитовая порода; 2 – каменная соль; 3 – галопелиты; 4 – кривая ГК; 5 – кривая ГГК-п; 6 – кривая ННК-т; 7 – кавернограмма. I – разрез по керну; II – разрез по каротажу.

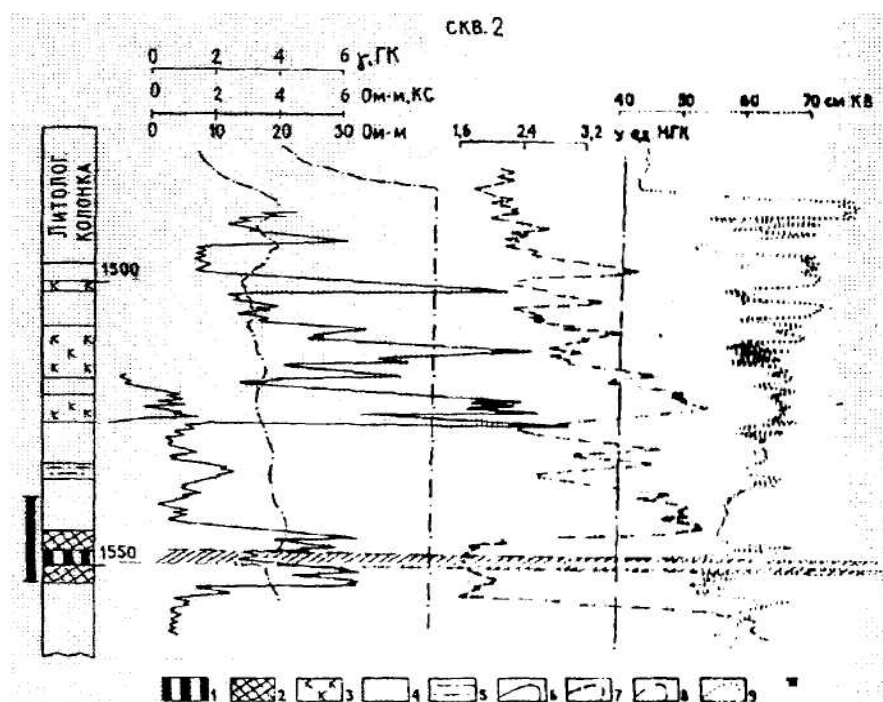


Рис. 11. Выделение пластов бишофита по ГИС. Припятский прогиб, Свободская площадь (P_1):

1 – бишофит; 2 – карналлит; 3 – калийные соли; 4 – каменная соль; 5 – алевро-глинистые породы; 6 – кривая ГК; 7 – кривая НК; 8 – кривая КС (A 8 M 1 N); 9 – кавернограмма; 10 – интервал отбора керна.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Геологические задачи, для решения которых применяются геофизические методы, являются многогранными и год от года усложняются. Поиски и разведку глубоко залегающих месторождений твердых горючих, металлических и неметаллических полезных ископаемых и многие другие проблемы геологии сегодня немислимо эффективно решать без привлечения комплекса геофизических методов.

Важнейшие задачи, решаемые с применением методов ГИС, следующие: 1) расчленение разрезов скважин;

2) определение литологического состава пород по данным каротажа;

3) корреляция продуктивных толщ;

4) изучение слоистых структур (выявление согласного и несогласного залегания слоев);

5) составление типовых, нормальных и сводных геолого-геофизических разрезов;

6) выявление и изучение разломов на месторождениях;

7) определение глубин залегания и мощности продуктивных пластов;

8) использование данных инклинометрии для построения разрезов по скважинам;

9) изучение строения и корреляция промышленных горизонтов и продуктивных пластов по детальному каротажу;

10) изучение характера выклинивания и фациального замещения промышленных горизонтов;

11) определение качества полезных ископаемых.

РАСЧЛЕНЕНИЕ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН

Расчленение разрезов скважин заключается в выяснении по комплексу ГИС последовательности залегания пластов, пачек, слоев или рудных тел, отличающихся по своим физическим свойствам, а также в определении их литологии. Решение этой задачи предусматривает: 1) выделение в разрезе скважины пластов, различающихся по своим физическим свойствам (удельное сопротивление, естественная гамма-активность, плотность и др.); 2) определение литологии и возраста пород.

Расчленение разрезов скважин осуществляется на основе посылки, что большинство пластов различного вещественного состава по-разному отражаются на кривых каротажа - КС, СП, ГК, НТК, НГК-С, ГГК-п, ГГК-с, ННК-т, ННК-нт, КМВ, АК и др. Наблюдаются также случаи, когда практически мало отличающиеся по петрографическим характеристикам пласты четко различаются на каротажных диаграммах.

Применяемый в настоящее время комплекс ГИС позволяет достаточно надежно расчленить практически любой разрез осадочного чехла. Несколько

сложнее решение этой задачи в случае расчленения магматических и метаморфических комплексов.

Обычно в первой скважине, пробуренной в новом геологическом регионе, данные керны являются основными для геологической интерпретации материалов ГИС. Однако в ряде случаев в связи с низким выходом керна собственно керновый материал является низкоинформативным. Цитологический состав тех частей разреза скважины, которые оказываются не представленными керном, предположительно определяется по каротажным диаграммам. Наиболее точные результаты могут быть получены при использовании геологических и геофизических данных по нескольким скоррелированным скважинам. При разведке месторождений твердых полезных ископаемых, когда на относительно небольшой площади расположено значительное количество скважин (особенно на стадии детальной разведки), расчленение их разрезов по ГИС даже при низком выходе керна не представляет затруднений.

При составлении литолого-стратиграфических колонок скважин особое внимание должно быть уделено сбору палеонтологических данных, на основе которых устанавливается возраст отложений и разрабатываются стратиграфические схемы расчленения комплексов пород в конкретных регионах. Эта задача особенно эффективно решается путем комплексного обобщения результатов интерпретации ГИС и данных палеонтологических определений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД

Многие неметаллические полезные ископаемые (угли, горючие сланцы, торф, фосфориты, каменная соль, гипс, ангидрит, калийные и калийно-магниевые соли, известняк, доломит, мел и др.), а также некоторые рудные (марганец, бокситы, железо и др.) пространственно и генетически связаны с осадочными толщами. Поэтому изучение осадочных толщ и, в частности, распознавание литологического состава горных пород по данным каротажа является одной из важнейших задач, решаемых в процессе геологоразведочных работ, особенно при разведке нефтяных и газовых месторождений.

При изучении литологического состава пород следует руководствоваться результатами комплексных геофизических исследований, включающих данные не только стандартного каротажа (обычно в масштабе глубин 1 : 500, реже 1 : 200), но также бокового или индукционного каротажа, микрокаротажа, гамма-гамма-каротажа, нейтронных методов каротажа и др. Весьма эффективным является использование детального каротажа (масштаб 1 : 50, 1 : 20) для изучения отложений, вмещающих непосредственно продуктивные пласты или рудные зоны. Возможно также использование материалов, полученных боковыми грунтоносами, и особенно керна.

Наиболее благоприятные геолого-геофизические условия для распознавания литологического состава горных пород по каротажу свойственны песчано-глинистому разрезу. С подобными разрезами, как правило, связаны залежи каменных и бурых углей, а также строительного

минерального сырья (глины, пески, песчаники, песчано-гравийные смеси и т. д.). По данным каротажа наиболее легко выделяются глины и высокопористые проницаемые пески. Комплекс ГИС и обычная методика интерпретации каротажных диаграмм в карбонатном разрезе позволяет выделять мергели, трещиноватые, высокопористые и кавернозные разности известняков и доломитов. Однозначно диагностируются мощные толщи и пачки писчего мела.

Весьма эффективно по комплексу ГИС осуществляется распознавание литологического состава эвапоритовых толщ (формаций). Эти толщи, как правило, представляют собой чередование пачек и пластов каменной соли, сульфатных пород (чаще ангидрит), карбонатных (доломит, известняк), глинистых и песчаных пород. С пластами и пачками каменной соли нередко связаны залежи калийных хлоридных и сульфатных солей, а также разнообразных сульфатно-магниевых и хлоридно-магниевых солей. Из гидрохимических осадков наиболее широко распространенной и легко выделяющейся по каротажу является каменная соль.

Комплексы изверженных и метаморфических пород также достаточно надежно выделяются по ГИС. На диаграммах КС они отмечаются очень высоким кажущимся удельным сопротивлением (за исключением сильно разрушенных пород). На диаграммах ГК и НТК эти породы чаще всего выделяются повышенными показаниями по сравнению с осадочными толщами. На кавернограммах изверженные и метаморфические породы сохраняют номинальный диаметр скважины.

КОРРЕЛЯЦИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ТОЛЩ

Корреляция продуктивных толщ заключается в сопоставлении не только собственно промышленных горизонтов и продуктивных пластов, но и вмещающих их отложений. Наиболее достоверные сопоставления разрезов скважин возможны при совместном использовании данных ГИС и кернового материала.

Сопоставление разрезов обычно начинают со сравнения каротажных диаграмм с типовой (хорошо изученной и представленной керном) скважиной для данного региона или конкретного месторождения. Корреляция разрезов сводится к сравнению каротажных диаграмм ближайших скважин. Цель сопоставления - выявление характерных интервалов, в пределах которых конфигурации кривых не претерпевают существенных изменений от скважины к скважине. Сопоставления производятся по определенным направлениям - вдоль линии простираения основных структур в регионе (или на месторождении) или вкрест положительных или отрицательных структур. В первом случае параллелизация разрезов осуществляется значительно лучше в связи с тем, что изменения в строении и составе продуктивной толщи в этом направлении менее существенные, чем вкрест простираения структур.

Корреляция разрезов скважин по ГИС требует предварительного выделения реперов (маркеров, опорных пластов). К ним предъявляются сле-

дующие требования: 1) выдержанность по площади; 2) выдержанность геофизических параметров и конфигурации каротажных кривых; 3) резкое отличие по геофизическим характеристикам от вмещающих пород; 4) приуроченность к определенным геологическим горизонтам. Реперы могут быть региональными, т. е. четко прослеживаться в пределах крупного геологического региона (впадина, прогиб, грабен и т. д.), или локальными (в пределах конкретных месторождений).

В песчано-глинистых толщах реперами могут являться регионально выдержанные пачки плотных песчаников, мергелей и мощные пласты однородных глин, отмечаемые низкими и достаточно постоянными сопротивлениями. В карбонатных разрезах в качестве маркеров могут служить терригенные породы, глинистые известняки и мергели, отличающиеся от плотных карбонатных пород низким сопротивлением и повышенной гамма-активностью. Наилучшие реперы в эвапоритовых толщах — пачки песчано-глинистых, глинистых, карбонатных и сульфатных пород. В качестве локальных реперов в пределах собственно месторождений нередко выделяются пласты каменной соли или мощные калийные горизонты.

Выделенные реперы паспортизируются; каждому из них присваивается буквенное или цифровое обозначение. При сопоставлении скважин учитывается также последовательность залегания слоев различного литологического состава в разрезе, т. е. их ритмостратиграфия. После выполнения параллелизации разрезов составляются таблицы расчленения скважин и корреляционные схемы с использованием каротажных диаграмм. На рис. 1 показан пример корреляции галитовой субформации, (D^2_{3fm}) в северо-западной части Припятского прогиба. С этой субформацией связано эксплуатируемое в регионе Мозырское месторождение каменной соли и ряд высокоперспективных участков. В полном разрезе галитовой субформации прослежено, восемь ритмопачек (I-VIII). Опорным пластом сверху этой субформации является репер А, представленный сульфатно-карбонатным пластом, хорошо выдержанным в пределах северной части Припятского прогиба. На каротажных диаграммах также четко прослеживаются карбонатные и сульфатно-карбонатные пласты в основании V и VI ритмопачек. В Восточно-Дроздовской скв. 1-р наблюдается фациальное замещение пластов каменной соли в нижних трех ритмопачках. Конфигурация каротажных кривых пластов каменной соли не претерпевает существенных изменений от скважины к скважине.

На месторождениях опорными пластами могут являться мощные и выдержанные по простиранию пласты полезных ископаемых. Так, на Саскачеванском месторождении в Канаде, являющемся одним из крупнейших в мире, в качестве маркеров выделяются калийные горизонты Эстерхази, Белый Медведь, Белл Плейн и Пейшенс Лейк (рис. 2). Эти горизонты достаточно четко отражаются на диаграммах ГК, уверенно коррелируются по площади и отчленяются в разрезе от нижней части формации Прери Эвап-райт.

На Старобинском месторождении калийных солей в Беларуси в качестве надежного геофизического маркера выделяется III калийный горизонт самый мощный (до 25 м) и выдержанный по простиранию. На Петриковском месторождении таким локальным репером является промышленный горизонт IV-п. Промышленные калийные горизонты, благодаря относительно высокому содержанию KCl, на диаграммах ГК выделяются максимально высокими значениями I_{γ} что позволяет легко выявлять их в разрезе продуктивной толщи (субформации) и отличать от других, более бедных калийных горизонтов.

СОСТАВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ, НОРМАЛЬНЫХ И СВОДНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ

Для полноценного использования данных геофизических исследований скважин при изучении месторождений полезных ископаемых необходимо установление последовательности залегания пород, их мощности, литологической и стратиграфической характеристик. С этой целью для каждого района (или крупного месторождения) на основе корреляционных схем составляют типовой, нормальный и сводный геолого-геофизический разрез.

Типовой геолого-геофизический разрез - это осредненный разрез толщи пород в пределах площади месторождения, отражающий последовательность залегания слоев, продуктивных пластов (или тел) полезных ископаемых, их видимую мощность, возраст и характерную конфигурацию каротажных кривых. Составление такого разреза заключается в построении типовой осредненной каротажной диаграммы и литологической колонки (обычно в масштабе 1 : 500 или 1 : 200). Типовые диаграммы должны отражать все характерные особенности каротажных кривых данного месторождения. Строят их, как правило, по отдельным интервалам разреза, причем каротажные диаграммы, полученные разными методами (например, КС и ГК) для одной и той же части разреза, могут быть взяты из разных скважин.

Нормальные геолого-геофизические разрез по месторождению в отличие от типовых составляют не по видимым, а по истинным мощностям. Для этого из имеющегося материала выбирают диаграммы, наиболее четко характеризующие геологический разрез на участках субгоризонтального или слабонаклонного залегания пластов. Затем диаграммы расчленяют на мелкие стратиграфические подразделения (горизонты, слои) или группы пачек. Выполнив суммирование их, получают более крупные геологические подразделения. Нормальный разрез можно получить также из типового, умножая видимые мощности (указанные в типовом разрезе) на косинус среднего угла падения пластов.

В практике геологоразведочных работ чаще составляют типовые разрезы. Они более удобны для сопоставления их с конкретными разрезами скважин, количество которых на крупных месторождениях исчисляется сотнями.

Для месторождений полезных ископаемых, характеризующихся значительной изменчивостью вещественного состава и мощности комплексов горных пород, обычно составляют несколько типовых геолого-геофизических разрезов, которые могут быть представлены в виде единого сводного геолого-геофизического разреза. В отличие от типовых и нормальных сводные геолого-геофизические разрезы изображаются несколькими литологическими колонками в зависимости от числа разрезов с характерными изменениями литологии. Нередко практикуется показ сводного разреза в виде единой колонки, а стратиграфические интервалы разреза, испытывающие наиболее существенные изменения литологии (например, фациальные замещения), отражаются на колонке в виде нескольких узких вертикальных полей соответствующего литологического состава. Основным критерием для обобщения геолого-геофизических разрезов ряда площадей (или отдельных месторождений) в единый сводный разрез является общность их строения, относительное тождество вещественного состава и геолого-геофизических параметров.

ВЫЯВЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛОМОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Дизъюнктивные нарушения не являются редкостью на многих нефтяных и газовых месторождениях, а также на месторождениях различных твердых полезных ископаемых (угли, фосфориты, железные руды и др.). Среди дизъюнктивных нарушений при тщательном изучении их можно выделить большое число разновидностей. Так, А. А. Белицкий в классификации дизъюнктивных нарушений, разработанной на основе их изучения в Кузнецком каменноугольном бассейне, выделяет: сбросы, взбросы, отдвиги, надвиги, сдвиги, подбросы, поддвиги и разные их сочетания.

Большую помощь в выявлении всевозможных разломов оказывают данные ГИС. Разломы устанавливаются в процессе корреляции до местным изменениям мощностей отдельных горизонтов, сдоев, свит и толщ. Взбросы фиксируются повторением отдельных частей разрезов, а сбросы, наоборот, выпадением определенных интервалов толщ. Местоположение сброса определяется по характеру слоев и выпадения из разреза, геофизических реперов. Непосредственное установление плоскости сбрасывания по данным ГИС возможно в редких случаях, когда сброс представлен сильнотрещиноватой зоной, в которой резко изменяются физические свойства пород. Амплитуда сброса в первом приближении может быть сопоставима с мощностью отсутствующей (выпавшей) части разреза.

Значительный опыт выявления разломов по ГИС накоплен в Беларуси в процессе разведки и разработки месторождения калийных солей. Долгое время считалось, что соленосные отложения ввиду их пластичности не подвергаются разрывам. Лишь после вскрытия в 1968 г. на Старобинском месторождении зоны разломов началось целенаправленное картирование их

методами сейсморазведки с поверхности земли и выявление в разрезах скважин по ГИС.

Изучение зон разломов в горных выработках показало, что они представлены многочисленными блоками, контактирующими друг с другом по трещинам или участкам брекчий. Размеры блоков варьируют от 1,5-2,5 до 10 м и более. Породы в тектонических блоках залегают под разными углами - от 1-2 до 70°. Наблюдаются задиры слоев, развиты сложно-ветвящиеся системы трещин, участки гигантокристаллического водяно-прозрачного галита. Изредка (на III калийном горизонте) в зонах разломов встречаются участки (до 7 м и более) "гигантской" брекчий, представляющей собой обломки слоев глин и мергелей размерами от нескольких сантиметров до брусков 20 x 150 см, как бы "плавающих", в каменной соли.

Зоны разломов в продуктивной части разреза верхнефаменской соленосной формации (калиеносной субформации) с использованием ГИС выявлены на Петриковском месторождении калийных солей. Здесь распространены сбросы, которые фиксируются по выпадению отдельных частей соленосного разреза (рис. 3). Так, в скв. 285 амплитуда его составляет около 60 м. При сопоставлении разреза этой скважины с ближайшими обнаруживается выпадение части разреза II ритмопачки мощностью 60 м на глубине 734—740 м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ И МОЩНОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

В целях обобщения материалов, полученных при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, и возможности их полного использования для подсчета запасов и проектирования разработки следует откорректировать по каротажу глубины залегания и мощности пластов. Определенные по керновому материалу и по каротажу, глубины залегания и мощности пластов часто не совпадают.

Оценка мощности тел полезных ископаемых по данным буровых скважин может производиться прямыми и косвенными способами. К прямым способам относится определение мощности по керну при колонковом бурении, по извлекаемой змеевиком ленте пород при медленном вращательном бурении в мягких породах, а также по данным шлама при ударно-канатном бурении. К косвенным методам относится наблюдение в процессе бурения за изменением скорости проходки скважины и за цветом или составом шлама.

Сопоставление данных бурения и каротажа скважин позволяет определить окончательное значение мощности, достаточно надежное для подсчета запасов. В случае крайне низкого выхода керна или его отсутствия за основу принимаются данные детального каротажа, позволяющие с высокой степенью достоверности определять глубины залегания и мощности тел полезных ископаемых.

Определение истинной мощности продуктивных пластов и тел по искривленным скважинам представляет известную сложность и производится несколькими способами. Данные об искривлении скважин получают на основании замеров, выполненных в стволе инклинометрами. Одним из способов вычисления истинной мощности по данным искривленных буровых скважин является способ П. М. Леонтовского.

Поправка на отклонения скважины от нормали к простиранию тела полезного ископаемого при небольших углах незначительна. Вычисление истинной мощности с учетом неперпендикулярности направления скважины к простиранию рекомендуется вводить в тех случаях, когда азимут скважины отличается от азимута перпендикуляра на угол более 30° при зенитных углах $< 5^\circ$ и на угол более 20° - при зенитных углах $> 5^\circ$. На основе полученных результатов производится корректировка мощности продуктивных пластов.

Таким образом, по данным каротажа производится первая корректировка мощности пластов (измеренных по керну), а в искривленных скважинах выполняется также вторая корректировка с учетом данных инклинометрии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ИНКЛИНОМЕТРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАЗРЕЗОВ ПО СКВАЖИНАМ

Искривление скважин вызывает осложнения как в процессе бурения, так и при интерпретации полученных геологических данных. При бурении искривление приводит к смятию обсадных труб, уменьшению возможного выхода из-под башмака, к ускоренному изнашиванию буровых труб, к затруднению при спуске колонн. Отрицательное значение кривизны скважин особенно велико при разведке месторождений полезных ископаемых. Игнорирование информации о кривизне скважины может привести к неправильным геологическим построениям и создать заведомо ложную картину геологического строения разведываемого участка.

Различают азимутальное искривление — отклонение от заданного азимута скважины и зенитное — отклонение от заданного угла наклона скважины. Измерение зенитных углов скважины и азимутов ее направления позволяет определить пространственное положение скважины и построить ее разрез. При незначительных азимутальных отклонениях (менее 10°) ошибки в построениях незначительны и могут не учитываться.

Измерение кривизны скважин производится инклинометрами. Частота замеров зависит от конкретных условий. В Беларуси замеры искривления скважин производят обычно через 25 м. Данные замеров заносятся в специальный каротажный журнал. В виде таблиц они, как правило, прикладываются к каротажным диаграммам.

Графическое изображение данных этих таблиц называется инклинограммой, представляющей собой горизонтальную проекцию ствола искривленной скважины, построенную в определенном масштабе.

Результаты замеров искривления скважин и инклинограммы используются при построении геологических разрезов по отдельным участкам месторождений или месторождениям в целом.

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ И ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ПО ДЕТАЛЬНОМУ КАРОТАЖУ

Исследование строения продуктивных пластов эффективно осуществляется при комплексном использовании кернового материала и данных детального каротажа. Детально методами ГИС могут изучаться продуктивные пласты горючих сланцев, бурых и каменных углей, фосфоритов, каменной соли, калийных солей, гипса, марганцевых руд и других твердых полезных ископаемых. Зная особенности интерпретации диаграмм различных методов, выяснить строение и глубину залегания продуктивных пластов полезных ископаемых в принципе несложно. Однако при этом могут возникать трудности, когда приходится иметь дело с тонкими, невыдержанными по простиранию и неоднородными по составу слоями.

Опыт применения ГИС для изучения строения разрезов и корреляции продуктивных пластов разнообразных полезных ископаемых в различных регионах показал, что в самых сложных геологических условиях всегда можно найти слои и пласты и проследить их от скважины к скважине, осуществляя их параллелизацию и увязку. При сопоставлении диаграмм детального каротажа на участке или месторождении практически всегда выявляются специфические, индивидуальные свойства геолого-каротажной характеристики отдельных слоев и пластов. По определению А. Н. Макарова, главными чертами геолого-каротажной характеристики пласта являются: 1) литологический состав; 2) мощность; 3) строение; 4) степень однородности породы (наличие и особенности включений); 5) состав вмещающих пород; 6) характер контактов с вмещающими породами; 7) особенности каротажной характеристики - характер "рисунка" каротажной диаграммы, присущего пласту.

В качестве примеров детального изучения строения продуктивных пластов рассмотрим каменные угли, горючие сланцы и калийные соли. Самыми результативными методами при определении мощности и строения пластов углей и горючих сланцев являются микрозондовая модификация ГТК, токовый каротаж в различных модификациях, боковой микрокаротаж и микрокаротаж КС. В разрезе продуктивной толщи выделяются пропластки угля мощностью до 5-15 см. а точность определения границ угля и породных прослоев составляет 1-2 см.

Горючие сланцы в отличие от каменных и бурых углей характеризуются высокой зольностью и по своим физическим свойствам незначительно отличаются от вмещающих пород, что затрудняет определение их строения. В Прибалтийском сланцевом бассейне промышленный пласт горючих сланцев имеет достаточно сложное строение и характеризу-

ется неоднородным составом. Особые затруднения вызывает выделение методами ГИС карбонатных конкреций в собственно сланцевых прослоях и во вмещающих породах. Пропластки и пласты горючих сланцев наиболее эффективно исследуются с помощью мГТК-с.

Большой опыт применения ГИС для изучения строения и корреляции промышленных калийных горизонтов накоплен в Беларуси в процессе разведки Петриковского и доразведки Старобинского месторождений калийных солей. Каротажные данные позволяют уверенно выделять и коррелировать калийные слои в нефтепоисковых скважинах, прошедших калиеносную субформацию без отбора керна (например, Птичская скв. 1-р).

При сопоставлении калийного горизонта IV-п выявляются и существенные изменения в строении его разреза. Так, в скв. 446, расположенной на Житковичском участке, в разрезе продуктивного пласта между калийными слоями 1 и 2 появляется дополнительный слой Г, отсутствующий на Петриковском месторождении и других площадях. В то же время здесь отсутствуют калийные слои в самой нижней (0-1 и 0-2) и верхней частях разреза рассматриваемого горизонта.

Послойная корреляция промышленных калийных горизонтов позволяет четко проследить продуктивные пласты и опробовать их в соответствии с намечаемыми вариантами отработки. Не представляет затруднения выделение продуктивного пласта для валовой, а при необходимости и для селективной выемки (обычно наиболее мощные и богатые слои). Сопоставление результатов опробования калийного горизонта IV-п по керну с данными каротажа показывает высокую эффективность изучения строения разрезов промышленных калийных горизонтов по ГИС. В практике геологоразведочных работ строение разрезов горизонтов и пластов, определенное по керну, как правило, уточняется и корректируется со строением этих же разрезов по данным каротажа.

ПРИЛОЖЕНИЕ

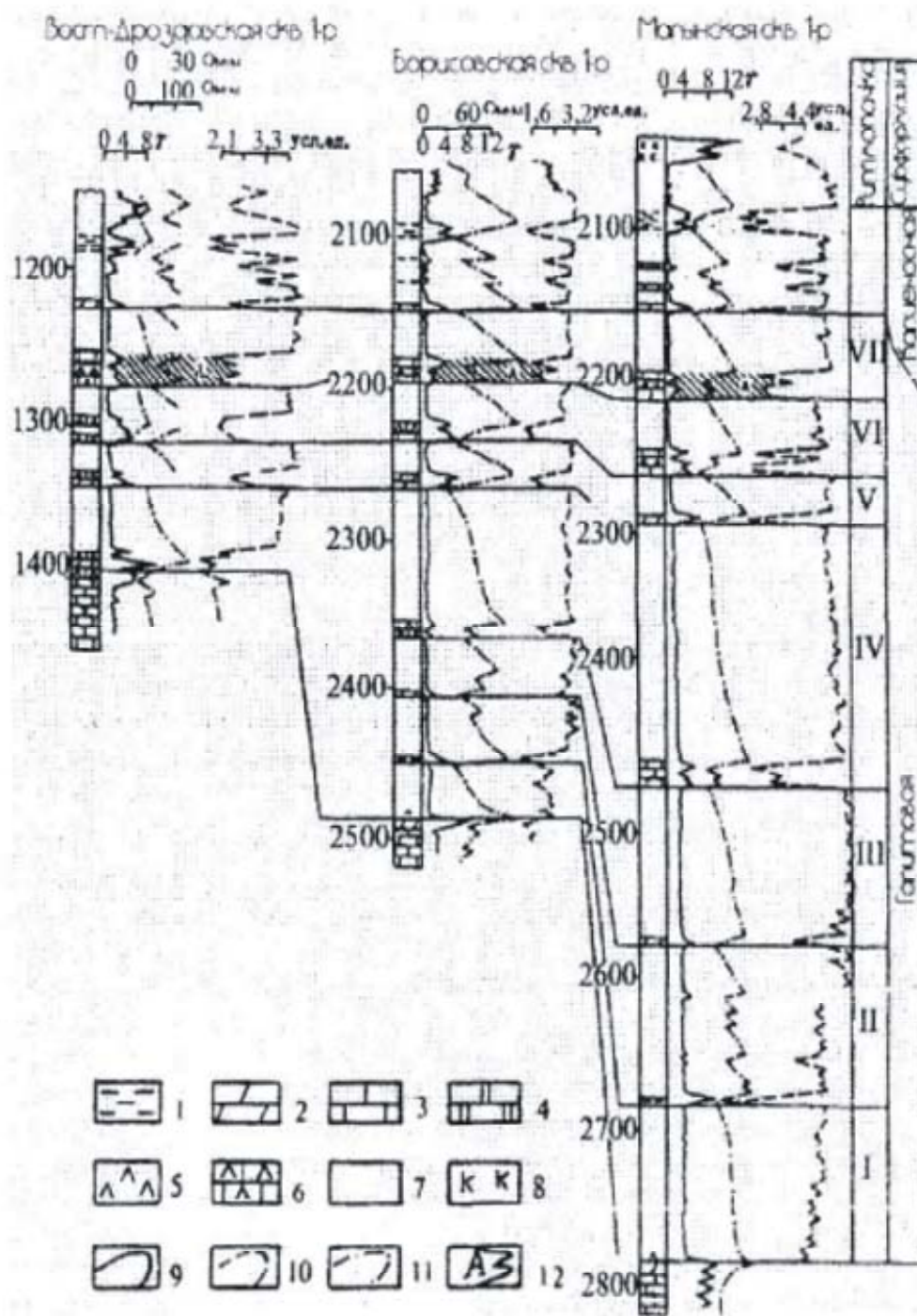


Рис. 1. Схема корреляции разрезов галитовой субформации на северо-западе Припятского прогиба:

1 – глинистые породы, 2 – мергель, 3 – известняк, 4 – доломит, 5 – ангидрит, 6 – сульфатно-карбонатная порода, 7 – каменная соль; 8 – калийные соли, 9 – кривая ГК: 10 – кривая НГК, 11 – кривая КС (градиент-зонд); 12 – литолого-геофизический репер

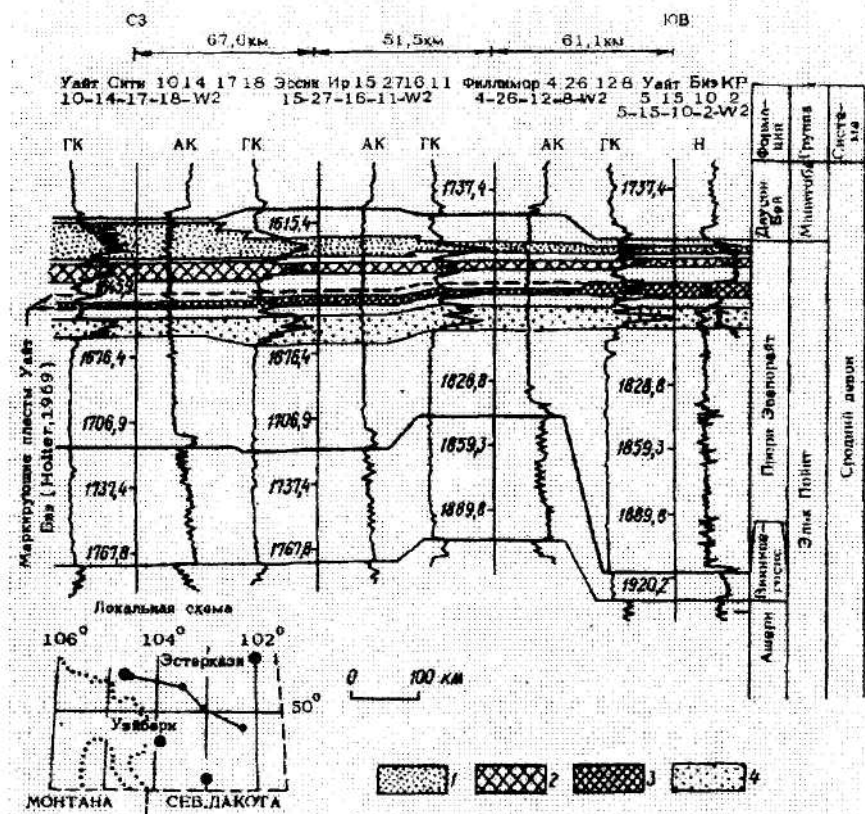


Рис. 2. Схема корреляции калийных горизонтов формации Прери Эвапорайт (по Н. Ворслеу и А. Фузеи):

1-Пейшенс Лейк; 2 - Белл Плейн; 3 - Белый Медведь (Уайт Би), 4- Эстерхаз; ГК -гамма-каротаж; АК:-акустический, Н-нейтронный

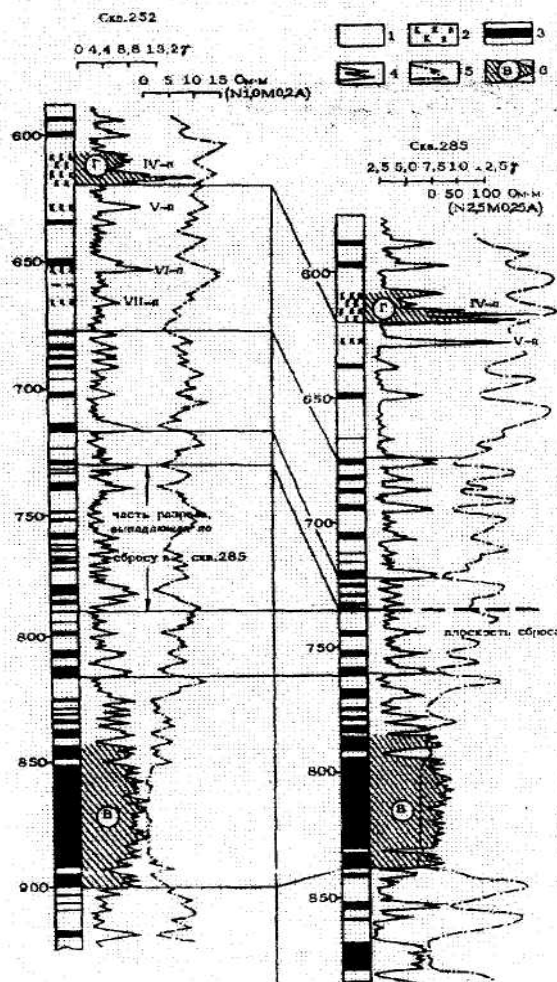


Рис. 3. Пример выявления сброса по ГИС на Петриковском месторождении калийных солей (D^2_{3fm}):

1 - каменная соль, 2 - калийные горизонты, 3 - несоляные породы; 4 - кривая ГК. 5 - кривая КС (потенциал-зона). 6 - литолого-геофизические реперы

ЗАДАЧИ, СТАДИИ, ПРИНЦИПЫ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ**ЗАДАЧИ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

Разведкой называется комплекс исследований, связанных с определением промышленного значения месторождения. Разведочные работы на месторождении производятся прежде всего в целях определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных условий залегания минерального сырья и экономических условий, в которых находится месторождение. Таким образом, разведочные работы преследуют цель промышленной оценки месторождения и получения геологических материалов, необходимых для составления проекта эксплуатации данного месторождения.

Разведка ведется путем проходки различных горных выработок и буровых скважин. Геофизические работы, которые все шире внедряются в разведку, являются предметом рассмотрения самостоятельной дисциплины.

Главнейшие вопросы при разведке месторождений полезных ископаемых следующие.

1. Определение формы и объема промышленной части месторождения. Для этого необходимо знать геологическое строение участка и района, условия залегания месторождения, взаимоотношения тел полезных ископаемых с вмещающими породами и их распространение в пространстве.

В отличие от поисковой стадии изучения в период собственно разведки месторождение подвергается изучению в трех направлениях (в пространстве). Если в период поисков намечается только контур месторождения в плане, обычно затрагивая небольшой приповерхностный слой участка, занятого месторождением, то разведочные работы направлены главным образом на раскрытие глубины месторождения с корректировкой данных предшествующего приповерхностного изучения и увязкой их с данными, полученными на глубине.

2. Установление качественно-технологической характеристики всех природных разновидностей (сортов) полезного ископаемого на основе технических требований к сырью (кондиций). Второй вопрос тесно связан с первым, так как в контуры промышленных участков могут быть включены лишь те части месторождения, которые отвечают промышленным требованиям и допускают разработку разведанных запасов.

3. Выявление природных факторов, определяющих условия эксплуатации: обводненность месторождения или его части с определением притоков воды в предполагаемые выработки; состав и взаимоотношения вмещающих пород, мощность покрывающих вскрышных пород и мощность полезной толщи, если предполагается открытая разработка; углы падения пород, твердость и трещиноватость и другие факторы, имеющие значение при производстве добычных работ.

2. СТАДИИ РАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА

В соответствии с принципом последовательных приближений разведка месторождения делится на стадии. На каждой из стадий решаются определенные задачи и осуществляется оценка месторождения или его части.

Процесс разведки месторождений твердых полезных ископаемых принято разделять на три стадии: предварительную, детальную и эксплуатационную разведку. Каждая последующая стадия отличается от предыдущей степенью детальности исследований и достоверностью результатов, все возрастающей от начала разведки до ее завершения. Но не только детальностью и достоверностью отличаются стадии друг от друга — от стадии к стадии меняется и объект разведки. В стадию предварительной разведки охватывается все месторождение или вся доступная для исследований часть крупного месторождения, распространенного на обширной площади или уходящего на большие глубины. В стадию детальной разведки изучается, как правило, только часть месторождения, предназначенная для отработки в ближайшее время. В стадию эксплуатационной разведки детальнейшим образом изучаются небольшие эксплуатационные участки — блоки, этажи.

Предварительная разведка

Предварительная разведка проводится на объектах, получивших положительную оценку в период предшествовавших поисково-разведочных работ. В эту стадию должны быть выяснены общие размеры месторождения, получены приблизительные представления о формах и размерах основных тел полезного ископаемого, о качестве полезного ископаемого, а также об условиях залегания месторождения, гидрогеологических и других горнотехнических особенностях, существенных для обоснованной промышленной оценки месторождения.

В стадию предварительной разведки завершаются детальное изучение поверхности месторождения и составление крупномасштабных карт 1 : 10000 — 1: 5000 на инструментальной топографической основе в отличие от преимущественно глазомерных съемок этого масштаба на стадии поисково-разведочных работ. Уточненная геологическая карта месторождения позволяет увереннее закладывать разведочные выработки на глубину. На стадии предварительной разведки разведочные выработки должны задаваться уже по системе, определяющей форму разведочной сети.

Предварительная разведка большинства месторождений осуществляется при помощи бурения разведочных скважин. Горные разведочные выработки служат главным образом для прослеживания и окон-туривания тел полезных ископаемых в приповерхностной части месторождений. На более сложных и весьма изменчивых месторождениях в эту стадию применяется минимальное количество подземных горных выработок для расшифровки отдельных узлов геологических структур и для отбора проб на технологические испытания.

Если площадь месторождения ранее не была покрыта геофизическими и геохимическими съемками крупных масштабов, то на стадии предварительной разведки могут быть полезны такие съемки прежде всего для того, чтобы лучше выбрать места заложения разведочных выработок и разредить их сеть без ущерба для достоверности результатов, опираясь на данные геофизических и геохимических съемок.

Качество полезного ископаемого на стадии предварительной разведки выясняется настолько, чтобы было возможно решить вопрос о пригодности полезного ископаемого для практического использования. Опробование немногочисленных разведочных выработок этой начальной стадии производится предельно полно, по всем интервалам, вскрывающим тело полезного ископаемого. Если месторождение представлено различными природными типами полезного ископаемого, то качественные показатели должны выясняться по каждому типу. Для технологических испытаний, обычно лабораторных, должны отбираться представительные пробы от основных природных типов полезного ископаемого.

В стадию предварительной разведки должны быть выполнены первичные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. При простых гидрогеологических условиях проводятся простейшие наблюдения, такие, как наблюдения за поглощением промывочной жидкости в буровых скважинах, пробные откачки из отдельных разведочных скважин, а также определения качества воды. На объектах со сложными гидрогеологическими условиями уже в начале разведки, как только выясняется положительная перспектива распространения полезного ископаемого, должны проводиться гидрогеологические съемки, пробные и опытные откачки, лабораторные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. По результатам гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений и исследований должны быть определены в общих чертах ожидаемая обводненность будущих горных выработок, условия отработки месторождения в отношении устойчивости, крепости и других свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород.

В результате предварительной разведки должны быть подсчитаны запасы полезного ископаемого по категориям C_1 и C_2 в соотношениях, обеспечивающих надежную промышленную оценку месторождения.

Итогом предварительной разведки месторождения является приблизительная, но достаточно надежная оценка всего разведываемого месторождения в отношении возможности промышленного его использования. По данным предварительной разведки составляется отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого, на основании которого разрабатывается технико-экономический доклад (ТЭД). В этом докладе представляются технические и экономические расчеты, обосновывающие целесообразность промышленного освоения предварительно разведанного месторождения и перехода от предварительной к детальной разведке.

Следует иметь в виду, что положительная промышленная оценка месторождения по данным предварительной разведки не влечет автоматически необходимости детальной его разведки немедленно. Месторождение после предварительной разведки может быть отнесено к числу резервных, когда нет недостатка в разведанных запасах I. данного полезного ископаемого и не все разведанные вновь месторождения одновременно подлежат освоению.

Детальная разведка

Детальная разведка проводится на месторождении или на отдельных участках, которые намечаются в результате предварительной разведки к промышленному освоению в ближайшее время.

Основной задачей детальной разведки объекта — всего небольшого месторождения или отдельной части крупного — является уточнение его геологического строения, форм, условий залегания тел полезного ископаемого, его качества, гидрогеологических и других горнотехнических условий предполагаемой отработки.

На стадии детальной разведки завершается крупномасштабное картирование тех участков месторождения, которые подвергаются детальным исследованиям в первую очередь и по которым начато составление карт масштабов от 1 : 2000 до 1 : 1000 (иногда 1 : 500).

Детальная разведка объекта выполняется, как правило, по системе, уже намеченной в стадию предварительной разведки, но с применением более густой сети для перевода запасов из категорий C_1 и C_2 в категории высшие — А и В. Первоочередными участками детальной разведки обычно являются наиболее доступные части месторождения, находящиеся ближе к поверхности и обладающие лучшими по качеству рудами.

Детальная разведка осуществляется с применением значительных объемов подземных горных выработок — меньше для простых месторождений угля, железных руд, строительных материалов и больше для разведки сложных месторождений и тех, которые по условиям резко расчлененного рельефа поверхности могут успешно разведываться штольнями. Ввиду возрастающей роли горных выработок при детальной разведке месторождения или его части целесообразно выбирать места их заложения и ориентировку с расчетом возможного использования этих подземных горных выработок в период предстоящей отработки объекта.

Геофизические и геохимические исследования на стадии детальной разведки носят вспомогательный характер, как, например, для приблизительного прослеживания залежей полезного ископаемого в интервалах между разведочными выработками.

Качество изучается по каждому сорту полезного ископаемого на материале больших проб, испытываемых в промышленных условиях — на обогатительных фабриках или других перерабатывающих предприятиях.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия предполагаемой отработки детально разведываемого участка месторождения

выясняются с высокой степенью достоверности, так как для строительства горного предприятия необходимо иметь достаточно точные исходные данные для расчета осушительных и дренажных устройств, а для обоснованного выбора системы отработки и установления режима проходки горных выработок необходимы данные о физико-механических свойствах полезного ископаемого и вмещающих горных пород. Одновременно с детальной разведкой месторождения проводится комплекс гидрогеологических изысканий для водоснабжения горного предприятия и жилого поселка, а также ряд других географо-экономических исследований, важных для создания условий нормального развития будущего предприятия — в отношении транспорта, энергетики и др.

В результате детальной разведки по дочитываются запасы полезного ископаемого для первоочередной отработки по категориям А и В и вместе с тем уточняется общая оценка месторождения, данная в стадию предварительной разведки. В стадию детальной разведки должны быть получены данные, обеспечивающие составление проекта горнодобывающего предприятия; с этой целью учитываются все запасы полезного ископаемого, разведанные и подсчитанные по категориям А, В, С₁₅ а также запасы, определенные по геологическим соображениям и отнесённые к категории С₂.

По завершении установленного объема детальных разведочных работ на месторождении составляется геологический отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого, в котором обобщаются все материалы разведок, проведенных на месторождении, необходимые для утверждения запасов в ГКЗ и для последующего составления проекта разработки месторождения или его части.

Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка начинается с отработки месторождения и сопровождает ее до конца. Основной целью эксплуатационной разведки является уточнение форм тел полезного ископаемого и его качества и в итоге — суммы промышленных запасов полезного ископаемого для обеспечения текущей производственной деятельности горного предприятия по каждому эксплуатационному участку. Масштабы разведочных исследований становятся уже предельно крупными — для подземного картирования от 1 : 500 до 1 : 100.

Эксплуатационная разведка ведется как в специальных разведочных выработках, так в горно-подготовительных и очистных. Кроме разведочных буровых скважин, задаваемых с целью уточнения контуров залежей или качества полезного ископаемого, для целей эксплуатационной разведки используются многочисленные буровые скважины, проходимые в очистных выработках или на уступах карьеров для отбойки полезного ископаемого.

Геологическая документация в период отработки месторождения проводится в значительно больших объемах по сравнению с предшествующими стадиями разведки, так как резко увеличивается число обнажений

в горных выработках, раскрывающих многие детали геологического строения месторождения, неизвестные до его отработки. Опробование при эксплуатации месторождения проводится как в специальных разведочных, так и в горно-подготовительных и очистных выработках. Оно служит не только уточнению качества добываемого полезного ископаемого, но является также средством регулирования добычи и выяснения размеров потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия отработки месторождения изучаются дифференцированно по каждому эксплуатационному участку, так как точные знания этих условий необходимы повседневно в процессе отработки каждого эксплуатационного блока или уступа в карьере.

На основании данных эксплуатационной разведки периодически проводится подсчет запасов на участках, подготовленных к отработке. Эти запасы, наиболее достоверные вследствие предельной детальности разведки, являются обоснованием месячных и квартальных планов добычи, полезного ископаемого.

В процессе эксплуатационной разведки ведется систематический учет добытого и оставшегося в недрах полезного ископаемого, что позволяет выяснять различного рода потери и разубоживание полезного ископаемого в каждом блоке и по каждому сорту.

Таким образом, на основании эксплуатационной разведки ведется текущее производственное планирование добычи полезного ископаемого, направляются подготовительные и очистные выработки, контролируется полнота отработки месторождения и по мере погашения его периодически составляется баланс запасов полезного ископаемого. Жидкие полезные ископаемые разведываются несколько иначе. Процесс разведки, например, месторождения нефти и газа неразрывно соединен с поисками, так как обнаружение нефти или газа в поисковой скважине автоматически делает ее разведочной в числе других единичных разведочных скважин, вскрывающих нефтеносную структуру. С другой стороны, разведочные буровые скважины становятся эксплуатационными и тем самым разведка в завершающий период сливается с эксплуатацией. В результате разведочных работ на нефть не по дочитываются общие ее количества, находящиеся в недрах, а определяется только то количество нефти, которое может быть извлечено. Процесс разведки воды обладает своими специфическими особенностями в характере и содержании стадий.

ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ

Несмотря на большое разнообразие месторождений полезных ископаемых, в основу разведки любого месторождения могут быть положены одни и те же принципы, поскольку геологоразведочный процесс осуществляется на определенном уровне развития производительных сил и имеет в конечном счете одну и ту же задачу — выявление в недрах промышленных

запасов различных полезных ископаемых. В. М. Крейтер указывает, что основными положениями разведки являются принципы: 1) последовательных приближений; 2) полноты исследований; 3) равной достоверности (равномерности); 4) наименьших затрат средств и времени. Принцип последовательных приближений говорит о постепенном наращивании знаний об изучаемом месторождении в районе по этапам и стадиям. Практически каждая новая разведочная выработка дает тот или иной «прирост» наших знаний. Этот принцип неизбежен во всем геологоразведочном процессе. Хотя работа всегда строится с максимальным ускорением, необходимо соблюдение этапов и стадий, что подтверждается всем многолетним опытом разведки. Так, вслед за поисковой стадией следуют, сменяя друг друга, предварительная, детальная и эксплуатационная стадии разведочного этапа. Число стадий разведочного этапа отнюдь не параллелизуется с числом рабочих сезонов: иногда все стадии разведки (кроме эксплуатационной) проходят в один сезон, а иногда даже одна предварительная разведка требует нескольких лет.

С принципом последовательных приближений тесно связан другой, практически самостоятельный принцип геологического прогноза и его проверки. Проектирование каждой разведочной выработки основывается на геологическом прогнозе, и ее проходка или подтверждает (уточняет) прогноз, или заставляет вносить в него коррективы, или, наконец, требует перестройки выдвинутых представлений. Принцип геологического прогноза и его проверки подтверждает важность принципа последовательных приближений.

Принцип полноты исследований требует не только решения основных задач разведки (определения качества и количества минерального сырья), но и получения всех данных (полной информации), необходимых для проектирования и строительства горнорудного предприятия.

Полнота исследований постепенно нарастает вместе со сменяющимися стадиями. Прежде всего устанавливается комплексность данного минерального сырья, а также контуры и размеры месторождения. Под последним подразумеваются как надежные разрезы самого тела полезного ископаемого, так и вмещающих пород; если на участке месторождения имеется несколько тел полезного ископаемого, контур нужно получить для каждого тела. Получение контура и размера — дело часто далеко не простое и зависит прежде всего от размеров месторождения и глубины его залегания. Нужно в отдельных случаях не только широко опираться на геологическую съемку и геофизические работы, но и переходить к разведке месторождения по частям, увязывая это с возможностями промышленного освоения месторождения или района в целом.

Важнейшим положением принципа полноты исследований является увязка с технологией добычи и переработки минерального сырья. Здесь подчеркивается не только увязка разведочных выработок с опробованием (в частности, технологическим), но и само количество и расположение

выработок, например разведка для будущей добычи руды открытыми работами требует большого внимания не только при изучении рудного тела, но и вмещающих пород, которые будут так или иначе захвачены карьером. Совершенно ясна необходимость комплексного использования самих выработок (например, для откачки воды, установления физических свойств руды и вмещающих пород, исследования пород как стройматериалов и т. д.). Принцип полноты исследований отчетливо сказывается в требованиях, предъявляемых к разведке проектирующими организациями.

В основе принципа равной достоверности (равномерности) лежит положение о том, что природные тела характеризуются изменчивостью форм и качества, уловить которую проще всего при равномерном расположении разведочных выработок или пунктов опробования. Но не нужно упрощать этот принцип, принимая, что разведочные выработки следует проводить всегда на равных расстояниях. Наоборот, в одном и том же рудном теле в направлении меньшей изменчивости (например, по падению) расстояния между выработками должны быть больше, чем по направлению большей изменчивости (например, по простиранию). Расположение выработок по этому принципу соответствует характеру изменчивости месторождения.

С точки зрения математической статистики тело полезного ископаемого (или месторождение) представляет собой совокупность свойств, которые могут рассматриваться как случайные величины. Изучение этих свойств должно производиться на основе случайной выборки, которая лучше всего обеспечивается равномерным распределением проб по объему всей изучаемой совокупности. Отсюда вытекает требование равных расстояний между пробами. Для площади это требование находит выражение в необходимости отбора проб по квадратной сетке.

Геофизики при хорошей интерпретации геофизических измерений нередко могут дать разведчику такие данные, на основании которых можно закладывать значительно меньшее количество выработок (проверочных), но даже и в этом случае нужно стремиться равномерно осветить те или иные участки месторождения.

Принцип наименьших затрат средств и времени является основным положением не только разведки, но и всей промышленности и сельского хозяйства. Затраты, естественно, разделяются на трудовые и материальные; сокращение затрат времени является важнейшей задачей народного хозяйства в целом. Нужно учитывать, особенно в плановом хозяйстве, что иногда для сокращения времени разведки месторождения целесообразно идти на большие затраты труда и материалов, а в некоторых случаях отчасти даже игнорировать другие перечисленные выше принципы.

На первый взгляд некоторые принципы разведки противоречат друг другу. Так, требование принципа полноты исследования потенциально содержит стремление заложить максимальное количество разведочных выработок, чаще и в большем объеме отбирать пробы и производить другие разнообразные виды работ. С другой стороны, принцип наименьших затрат

предполагает производство минимальных объемов геологоразведочных работ. Принцип последовательных приближений предусматривает стадийность геологоразведочного процесса, как бы сдерживает темп разведки. Однако в борьбе противоречивых начал, например принципа полноты исследований и принципа наименьших затрат, создаются важные для практики понятия о необходимой и достаточной полноте исследований, об оптимальных плотностях разведочных сеток, об оптимальных интервалах опробования, а также нормы на различного рода измерения и исследования.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Перед началом исследований геолог составляет проект на разведочные работы, состоящий из трех основных частей: геологической, методической и расчетной.

Геологическая часть содержит: 1) описание и карту общего (регионального) геологического строения и тектоники района или области с указанием расположения месторождения; 2) детальное описание геологического строения участка месторождения с указанием генезиса, формы и общих условий залегания полезного ископаемого по данным геологических и поисковых работ.

В заключение геолог обосновывает оценку и выбор непосредственных участков под разведку, т. е. уточняет выводы, сделанные в поисковый-период работ.

В методической части на основе геолого-генетических предпосылок и поисковых работ обосновывают предположения о протяжении, условиях залегания и качестве полезного ископаемого. На основе этих предположений проектируют работы для прослеживания месторождения на площади и в глубину. Намечают вскрытие месторождения горными выработками (канавы, карьеры, шурфы, штольни и др.) или буровыми скважинами (мелкое или глубокое бурение) в зависимости от условий залегания тел полезного ископаемого; размещают пробы всех видов, которые необходимы для изучения месторождения; проектируют гидрогеологические, дополнительные геологические и топографические работы. В конце этой части-проекта подсчитывают объем всех видов работ и определяют категории пород, необходимые для расчета работ горных, буровых и опробования, а также указывают категорию местности, определяющую смету на топографические работы и дополнительные геологические исследования (геологическая съемка крупного масштаба), необходимые для выявления и уточнения условий залегания тел полезных ископаемых.

Расчетная часть содержит краткое обоснование выбора технических средств разведки с определением их объема и расчетами затрат времени и рабочей силы по СУН и ССН, с учетом необходимых правил техники безопасности. Рассчитывают также работы по опробованию и испытанию проб. В итоге составляют смету (по СУСН) с указанием стоимости всех видов работ, транспорта, организации и ликвидации работ и, наконец,

камеральных работ с составлением и оформлением отчета. В заключение расчетной части намечают график (календарный план) всех видов проектируемых работ, включая и составление отчета.

Проекты на разведочные работы защищают и утверждают на технических совещаниях производственных геологических организаций.

В процессе разведочных работ в этот проект могут быть внесены те или иные изменения, которые предварительно следует согласовать с руководящей организацией.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ

Понятие «методы разведки» в современной литературе и в обыденной практике толкуется довольно широко и иногда настолько вольно, что порой простейшим операциям геологоразведочного процесса присваиваются наименования методов. Нередко методами называют те или иные системы расположения разведочных выработок, откуда появились названия: «метод разведки линиями», «метод разведки квадратной сетью» и т. п. Иногда, подчеркивая особенности разведки месторождений тех или иных полезных ископаемых, пытаются присвоить каждому виду разведки наименование метода: «метод разведки угольных месторождений», «метод разведки строительных известняков», «метод разведки урановых руд» и т. п.

Когда говорится о специфике разведки слепых месторождений, иногда привлекается понятие «методы разведки слепых рудных тел». Довольно прочно вошло в обиход понятие «геофизические методы разведки», в содержании которого заложена трактовка применения различных геофизических средств для целей разведки. Говорят даже о «буровых методах разведки», о «методах разведки горными выработками» и т. п.

Исходя из самого определения понятия «метод» (способ познания, изучения, исследования явлений) его целесообразно присваивать, во-первых, таким разведочным мероприятиям, которые позволяют теоретически обоснованно решать главные задачи разведки; во-вторых, в понятии метода должно содержаться нечто общее, сопоставимое и приложимое к любому процессу разведки независимо от сложности и разнообразия применяемых технических средств; в-третьих, методом разведки можно называть только такие способы изучения месторождений, которые позволяют делать некоторые выводы о точности исследований.

Поэтому следует назвать основными методами разведки три общих для всякой разведки мероприятия, соответствующие трем главным звеньям геологоразведочного процесса: 1) создание системы разрезов; 2) опробование полезного ископаемого; 3) промышленная оценка месторождения.

Разведочные геологические разрезы представляют собой теоретически вполне обоснованный способ выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения. Разрезы могут быть вертикальными и

горизонтальными, в соответствии с чем метод разрезов имеет три разновидности: а) метод вертикальных разрезов (рис. 1, а);

б) метод горизонтальных разрезов, или сечений (рис. 1, б)

в) метод горизонтальных и вертикальных разрезов (рис. 1, в).

Кроме метода геологических разрезов, современная наука и практика не располагают сколько-нибудь надежными способами определения формы, внутреннего строения и условий залегания разнообразных тел полезных ископаемых. Способ изучения формы тела полезного ископаемого путем построения изолиний его поверхности менее совершенен по сравнению со способом разрезов, так как он не раскрывает внутреннего строения тела полезного ископаемого, геологического строения вмещающих пород и их соотношения с рудным телом. А изолинии мощностей, строго говоря, есть не что иное как контуры некоторых сечений (разрезов) тела полезного ископаемого, и поэтому между построением обычных разрезов по данным разведки и построением изолиний поверхности тела по тем же данным принципиальной разницы нет.

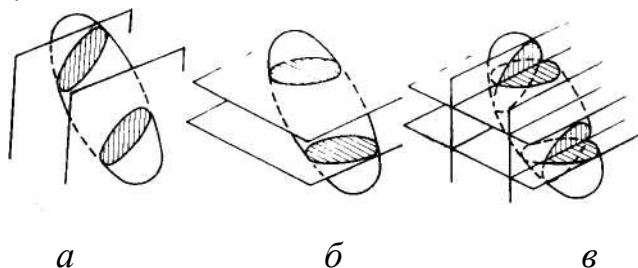


Рис. 1 Основные виды разведочных разрезов

а — схема вертикальных разрезов; б — схема горизонтальных разрезов; в — схема вертикальных и горизонтальных разрезов

Таким образом, первым основным методом разведки является метод геологических разрезов.

Разрезы могут создаваться по данным проходки горных выработок, буровых скважин и в некоторых случаях по результатам геофизических измерений. Если какое-либо из технических средств не обеспечивает возможности построения разведочного разреза, то оно непригодно для целей разведки.

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого. Иного способа для выяснения качества полезного ископаемого в процессе разведки не существует. В недавнем прошлом некоторые геологи иногда определяли качество полезного ископаемого приближенно, «на глаз», но это настолько несовершенный способ, что рассматривать его при современных технических требованиях не имеет смысла.

Таким образом, вторым основным методом разведки является метод опробования.

Как известно, опробование, кроме разведки, широко применяется и в других областях народного хозяйства, особенно в горном деле, в процессе переработки полезного ископаемого. Но в данной работе рассматривается только разведочное опробование как один из основных методов разведки.

Нельзя не отметить весьма перспективное направление в разведочном опробовании, предполагающее применение различных геофизических средств (радиометрия, магнитометрия) и люминесценции с целью определения качества полезного ископаемого непосредственно на месте его залегания. При успешном развитии эти способы смогут в известной мере заменить существующие способы отбора, обработки и химико-минералогических исследований массовых проб, требующие значительных затрат времени и средств.

Все минералогические, химические, физические и технологические методики исследования вещества являются способами испытания проб, но не методами опробования. Задачи науки о разведке в отношении опробования состоят прежде всего в выборе наиболее эффективных способов отбора и обработки проб для различных типов полезных ископаемых, а затем в рациональном комплексировании различных способов испытания проб.

Промышленная оценка представляет собой способ определения промышленного значения месторождения, а следовательно, возможностей и условий его использования, по данным разведки. Оценка является необходимой и неизбежной составной частью разведки; разведку нельзя считать законченной, если в результате ее месторождению не дана оценка.

Промышленная оценка месторождения, вернее, оценочное сопоставление, не является только заключительным актом разведки; она сопутствует всему процессу разведки месторождения. Каждая новая разведочная выработка приносит новые сведения о размерах разведываемой залежи, о качестве полезного ископаемого, и данные этой выработки подвергаются немедленной оценке: определяются промышленные границы залежи, намечается сорт руды и т. п.

В основе способов социалистической оценки лежит понятие о народно-хозяйственной целесообразности эксплуатации данного месторождения. Целесообразность же эта определяется путем сравнения данного месторождения с другими подобными месторождениями или путем сравнения элементов процесса его промышленного освоения (добычи, переработки и т. п.) с подобными элементами других горнопромышленных предприятий.

Из этого следует, что оценка месторождения полезного ископаемого носит сравнительный характер. Таким образом, третий основной метод разведки — метод промышленной оценки — является методом сравнительным.

Итак, учение о разведке месторождений полезных ископаемых и практика разведочных работ на современном уровне развития производительных сил располагают тремя основными методами познания месторождений:

- 1) методом геологических разрезов с его разновидностями — методами вертикальных, горизонтальных, а также тех и других разрезов;
- 2) методом опробования;
- 3) методом оценочного сопоставления.

Для осуществления этих методов в арсенале современного разведчика, кроме различных геологических подходов, имеются разнообразные технические средства: горные выработки, буровые скважины, геофизические измерения, минералогические и химические анализы.

В соответствии с задачами каждой стадии разведочных работ могут применяться те или иные средства разведки, всегда направленные на создание системы разрезов пространства, занимаемого месторождением, на опробование полезного ископаемого и на выяснение всех прочих данных, необходимых для промышленной оценки месторождения.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАЗВЕДОЧНЫХ СРЕДСТВ**

В соответствии с задачами, принципами и основными методами разведки, вытекающими из необходимости проникновения на более или менее значительные глубины от дневной поверхности, в практике геологоразведочных работ нашли применение в качестве разведочных средств как обычные, издавна известные различного рода горные выработки, так и специфические средства, созданные специальной техникой разведки.

Все средства разведки полезных ископаемых, имеющиеся в арсенале современного разведчика недр, можно разделить на три различных по методическим основам и оснащению вида:

1. Горные разведочные выработки.
2. Буровые разведочные скважины.
3. Геофизические работы

Различия между ними с разведочной точки зрения заключаются в следующем:

1. В горную выработку человек может проникнуть и, следовательно, получить максимально точные сведения о полезном ископаемом, обнаруженном в данной выработке. Кроме того, горная выработка может быть продолжена в любую сторону.

2. Фактический материал, добываемый из буровой скважины, лишь с той или иной степенью приближения характеризует качество полезного ископаемого и условия его залегания. Скважина может быть искусственно искривлена с целью новых пересечений тела полезного ископаемого.

3. Геофизические работы сами по себе не обеспечивают непосредственного качественного опробования полезного ископаемого. Они дают обычно весьма приближенное представление о размерах и условиях залегания разведываемого объекта. В отдельных случаях геофизические измерения позволяют приблизительно оценивать качество полезного ископаемого и судить о форме тела.

Указанные различия определяют и степень разведочной точности данных, полученных при помощи того или иного разведочного средства, и его применимость в различных звеньях геологоразведочного процесса к тем или иным типам месторождений полезных ископаемых, а также достоверность результатов исследований. Наиболее надежные данные, как видно из приведенной характеристики, можно получить по горным разведочным выработкам. Менее достоверные результаты приносит разведочное бурение. Наименее достоверные результаты (за исключением особых случаев) дают геофизические измерения.

Следует иметь в виду, однако, что горные выработки (за исключением поверхностных) являются наиболее дорогим и громоздким средством разведки. Бурение обычно обходится значительно дешевле и производится гораздо

быстрее. Геофизические измерения несравненно дешевле других разведочных средств и выполняются они несоизмеримо быстрее. Поэтому в практике геологоразведочных работ находят применение все эти средства, и чаще всего они комбинируются так, что горными выработками проверяются данные бурения, бурением проверяются результаты геофизических исследований (которые играют с каждым годом все большую роль), а последние в свою очередь восполняют или корректируют неполные или ошибочные данные разведочного бурения.

Итак, разведочные средства позволяют создавать разрезы пространства, занимаемого месторождением, проводить опробование полезного ископаемого в различных частях месторождения и получать основные данные, необходимые для промышленной оценки месторождения'. Качество того или другого разведочного средства определяется прежде всего его способностью обеспечивать построение более или менее достоверных разведочных разрезов и предоставляемой им возможностью более или менее детального опробования полезного ископаемого.

2. ГОРНЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Для разведочных целей используются почти все виды горных выработок: расчистки, канавы, шурфы, дудки, шахты, штольни и связанные с ними выработки, не выходящие на земную поверхность: квершлагги, штреки, орты, гезенки. Все эти горные выработки можно подразделить, с одной стороны, на вертикальные и горизонтальные, с другой — на поверхностные, легкого типа, и подземные, требующие большой затраты сил и материальных средств.

Канавы обычно проходятся на глубину до 3 м, редко до 5 м. При глубине наносов более 3 м в большинстве случаев бывает целесообразно применять шурфы или дудки. Эти выработки обычно имеют глубину до 15 м, реже до 30 м. Сечение их выбирается в пределах 1—2,5 м². Более глубокие вертикальные выработки — шахты — для разведочных целей задаются обычно на глубину до 100 м. Они, естественно, и по конструкции и по технологии проходки существенно отличаются от мелких шурфов и дудок. Сечение шахт измеряется несколькими квадратными метрами и делится на два-три отделения (ходовое, подъемное, арматурное).

Штольни являются наиболее распространенными разведочными выработками, но применяются они только в условиях расчлененного рельефа поверхности. Нормальные сечения разведочных штолен: 1,8; 2,7; реже 3,6 м². Таким же сечением обладают и другие горизонтальные подземные выработки, проводимые от штольни или от ствола шахты по простиранию тела полезного ископаемого (штреки) или вкресте простирания (квершлагги, орты).

Нередко в разведочной практике применяются наклонные выработки, проходимые по телу полезного ископаемого в направлении его падения. В случае крутого падения эти выработки называются наклонными шахтами. При пологом залегании им присваивается наименование уклонов.

При проведении горноразведочных выработок значительной глубины или длины необходимо учитывать условия будущей эксплуатации месторождения. Иногда разведка сочетается с начальной стадией эксплуатации месторождения. В таких случаях некоторые этапы вскрытия месторождения и проведения подготовительных выработок выполняются разведчиком, так как разведочные выработки одновременно являются и вскрышными или подготовительными.

Поэтому при заложении крупных разведочных шахт должны учитываться такие условия, как: 1) центр сосредоточения грузов при будущей откатке и доставке полезного ископаемого по подземным выработкам; 2) необходимость оставления околошахтного целика; 3) рельеф поверхности эксплуатационного участка. Если разведочные выработки не будут использоваться в качестве основных эксплуатационных выработок, они могут сыграть существенную роль для вентиляции, в качестве запасного выхода и т. п. Исходя из соображений максимального использования разведочных выработок при эксплуатации месторождения нужно выбирать и соответствующие их сечения, уклоны (в отношении уклонов у разведчиков особенно часто бывают большие неудачи) и необходимое оснащение. При выборе расстояний между разведочными горизонтами или расстояний между разведочными штольями и штреками по вертикали следует руководствоваться нормальной высотой эксплуатационного этажа. Проходку вертикальной шахты предпочтительно осуществлять в лежащем боку крутопадающей залежи, так как в противном случае часть полезного ископаемого в висячем боку попадает в охранный целик и может быть потеряна (рис. 1). Наиболее рациональным видом разведочного вскрытия крутопадающего месторождения при спокойном рельефе поверхности надо считать шахту с квершлагом (см. рис. 1, 6).

Квершлаг является одним из основных видов разведочных выработок, так как на нем строится разрез вкрест простирания месторождения. Той же цели служит орт, не выходящий за пределы тела полезного ископаемого.

С помощью квершлагов вскрываются параллельные тела полезных ископаемых и соединяются с шахтой или с главной штольей другие подземные выработки.

Штрек часто дает непрерывное горизонтальное обнажение тела полезного ископаемого. По мощным телам полезного ископаемого и по мощным продуктивным зонам от штрека через некоторые интервалы проходятся орты для вскрытия полной мощности тела полезного ископаемого на разведочном горизонте (рис. 2).

В подземных горизонтальных выработках в ряде случаев возникает необходимость проходки вертикальных или наклонных выработок, называемых гезенками и восстающими. Вертикальные гезенки и восстающие обычно проходятся из штреков, квершлагов и ортов для пересечения залежи выше или ниже разведываемого горизонта (рис. 3). Наклонные гезенки и

восстающие проводятся по падению тела полезного ископаемого и дают непрерывное обнажение этого тела (рис. 4).

Главной технической проблемой проходки разведочных горных выработок является непрерывное совершенствование и внедрение новых видов механизации этого весьма трудоемкого процесса. Следует иметь в виду, что эта проблема существенно отличается от проблемы механизации эксплуатационных работ, особенно на крупном руднике, так как объемы горных работ при разведке обычно во много раз меньше, чем при эксплуатации, и те средства и приемы механизации, которые дают значительный эффект на эксплуатационных работах (аогрузочные машины, электровозы и т. п.), часто вследствие их громоздкости и дороговизны оказываются непригодными для разведки, особенно предварительной. Механизация проходки горных разведочных выработок должна направляться по пути так называемой малой механизации, предполагающей небольшие затраты и достаточно ощутимый технический и экономический эффект (передвижные легкие компрессоры и электростанции, простейшие механические подъемные устройства, лебедки и т. п.).

Механизация горноразведочных выработок легкого типа — канав и шурфов — обычно не рассматривается в специальных работах по проходке подготовительных и эксплуатационных горных выработок. Поэтому ниже даются некоторые рекомендации по данному вопросу.

1. Для механизации канавных работ могут быть применены роторные и траншейные экскаваторы, широко используемые в строительстве.

Разумеется, применение этих машин целесообразно в тех случаях, когда объемы канавных работ значительные — хотя бы не меньше месячной проектной производительности машины. В противном случае доставка, уход и ремонт машины потребуют больших затрат, чем проходка канав без их применения.

2. Для механизации проходки шурфов можно использовать бурильные машины большого диаметра, применяемые в различных отраслях строительства.

Для более глубоких шурфов целесообразно использовать смонтированную на автомашине бурильную машину АВБ-5, которая позволяет проходить шурф глубиной до 5—6 м, диаметром 500 мм за 10—20 минут (эта машина подходит для геологической съемки и поисков, связанных со вскрытием пород).

При проходке глубоких шурфов в рыхлых и водоносных породах хорошие результаты дают машина КШК-30 («копатель шахтных колодцев») и колонковый снаряд типа ТМ или БМН-860, сконструированный институтом НИГРИЗолото. Этот снаряд позволяет проходить дудки большого диаметра (660—860 мм) до глубины 50 м.

Применение горных выработок в качестве технического средства разведки должно осуществляться с учетом следующих общих положений:

1. Заложение горных выработок должно быть основано на данных детального геологического изучения выходов месторождения и в некоторых случаях на данных разведочного бурения.

2. Горноразведочные выработки в большинстве своем должны проходить с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации.

3. Габариты, направление и горно-геологические условия проходки разведочных выработок должны выбираться так, чтобы они допускали скоростную проходку этих выработок.

4. Наибольшее количество горноразведочных выработок целесообразно проходить по полезному ископаемому с целью его изучения и опробования при попутной добыче.

Изучение полезного ископаемого с помощью подземных горных выработок как в отношении формы залежи, так и в отношении качества дает наиболее достоверные результаты. В некоторых случаях, при весьма изменчивых по форме и по качеству телах полезного ископаемого, проходка горных выработок становится единственно надежным средством разведки. Однако организационно горноразведочные выработки гораздо сложнее других видов и средств разведки и требуют больших затрат материальных средств и вре-

При всех многочисленных преимуществах горноразведочных выработок геолог-разведчик должен в меру возможности воздерживаться от проведения капитальных вскрышных и подготовительных работ. В процессе разведки нужно проходить минимум восстающих выработок, этажных штолен и штреков и т. д. Надо помнить, что специалист-горняк сделает это лучше геолога, тем более руководствуясь проектом.

3. БУРОВЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ СКВАЖИНЫ

Бурение разведочных скважин является типичным, а для многих полезных ископаемых главным и даже единственным средством разведки. Хотя буровые скважины дают менее точные сведения о полезном ископаемом чем горные выработки, тем не менее разведочное бурение находит широкое применение благодаря своей мобильности, скорости работ, относительной легкости оборудования и меньшим расходам материальных средств на погонный метр проходки.

Последнее обстоятельство имеет особенно важное значение в связи с тем что приходится разведывать все более и более глубоко залегающие месторождения. Так, за вторую четверть XX века глубины разведочных скважин увеличились в Донбассе в 3 раза, в Криворожье в 2—3 раза. Поэтому удельный вес бурения в разведочных работах все возрастает, техника бурения заметно прогрессирует и усложняется.

В основе бурения лежат два механических принципа: 1) удар, дробящий горную породу в скважине; 2) вращение, приводящее к истиранию горной породы в скважине. В соответствии с этими двумя принципами различаются виды бурения: ударное, вращательное и ударно-вращательное.

Целесообразно различать виды бурения и по характеру инструмента или материала, разрушающего горную породу в скважине. Все виды наконечников буровых снарядов — долото, змеевик (шнек), алмазная или твердосплавная коронка, буровая дробь, шарошечное долото и т. п. — можно подразделить на две существенно различные группы:

1) наконечники, разрушающие всю горную породу в скважине (сплошной забой);

2) наконечники, выбуривающие в скважине кольцо, внутри которого сохраняется столбик горной породы — «кern» (кольцевой забой).

Колонковое бурение является главным видом разведочного бурения. Это бурение вращательное, механическое, с кольцевым забоем. Оно может быть алмазным, твердосплавным или дробовым. Сущность процесса вращательного бурения состоит в разрушении горной породы резцами (алмаз, твердый сплав, дробь) под непрерывным действием осевой нагрузки и вращающих усилий. При этом разрушенные частицы выносятся с забоя скважины промывочной жидкостью (глинистый раствор, вода) или воздухом, которые одновременно охлаждают резцы.

Всякий буровой колонковый агрегат состоит из трех основных частей: бурового станка, двигателя (электрического или внутреннего сгорания) и насоса. Агрегат монтируется на ровной площадке величиной в несколько квадратных метров под копром, служащим для спуска и подъема бурового снаряда. Все это сооружение обычно называется «буровой вышкой». Имеются и передвижные буровые агрегаты, смонтированные на автомашине или на салазках. Эти агрегаты используются для бурения мелких скважин, главным образом в процессе поисковых и поисково-разведочных работ.

С точки зрения разведки преимуществами колонкового бурения являются: 1) получение керна, т. е. наиболее достоверного материала, характеризующего полезное ископаемое и геологический разрез; 2) возможность бурения в любых горных породах от рыхлых до крепчайших; 3) возможность бурения вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин. Эти преимущества делают колонковое бурение незаменимым во многих случаях разведочной практики.

При выборе бурового агрегата надо исходить из проектируемой глубины разведочных скважин.

Для бурения в подземных выработках применяются специальные буровые станки ГП-1 и НЗ-2 отечественного производства. Из зарубежных станков для подземного бурения используются станки Х-2, Х-4 и Сулливан № 6.

Важнейшим качественным показателем колонкового бурения является «выход керна», т. е. выраженное в процентах отношение длины полученного керна к пробуренному интервалу скважины. Эффективность применения колонкового бурения при прочих равных условиях прямо пропорциональна выходу керна. Поэтому в процессе колонкового бурения главной заботой буровой бригады и геологического персонала является добыча максимально возможного количества керна, выход которого редко достигает 100%.

Обычно в результате трещиноватости или рыхлости горной породы значительная часть керна истирается и выносится промывочной жидкостью на поверхность в виде мути. Последняя вследствие смешанного состава и запоздалого выхода из скважины не может достаточно надежно характеризовать интервал, с которого она вынесена. Бурение с выходом керна менее 50% в большинстве случаев надо считать браком.

Вычисляя процент выхода керна, надо измерять длину последнего не по разложенному мастером в ящике столбику породы, а по его наиболее плотной упаковке. Для этого надо отдельные куски керна сложить так, чтобы они вплотную смыкались друг с другом, а мелочь поместить в зазоры между ними.

Для увеличения выхода керна (главным образом по полезному ископаемому) осуществляются следующие мероприятия:

- 1) бурение большим диаметром по полезному ископаемому;
- 2) уменьшение напора промывной струи до минимума;
- 3) бурение короткими уходками (0,5—0,8 м);
- 4) затирка рыхлого полезного ископаемого всухую;
- 5) переход с дробового бурения на твердосплавное или алмазное;
- 6) применение двойных колонковых труб;
- 7) безнасосное бурение.

Ударно-канатное бурение в некоторых случаях весьма успешно применяется в процессе геологоразведочных работ. Сущность этого вида бурения сводится к измельчению горной породы в скважине падающим снарядом большого веса, оснащенным внизу долотом, которое после каждого удара поворачивается на небольшой угол. После углубки скважины на 20—50 см бурение прерывается и скважина очищается от раздробленного материала (шлама).

Преимущества ударно-канатного бурения заключаются в возможности более надежного опробования, больших скоростях проходки скважин, особенно при глубинах до 150 м, по сравнению с колонковым бурением. И в возможности бурить скважины без промывки. Однако ударно-канатное бурение может осуществляться только в вертикальном направлении и сплошным забоем, т. е. керна при этом бурении не получается. Поэтому описываемый вид бурения с большим эффектом применяется только при разведках крупных штокверков, массивов, некоторых полого залегающих месторождений и россыпей. Кроме того, ударно-канатное бурение успешно применяется при разведке жидких полезных ископаемых.

Материал, характеризующий пробуриваемую горную породу или полезное ископаемое, поднимается желонкой из скважины в виде шлама. Поэтому после каждой уходки скважина должна тщательно очищаться во избежание смешения шлама с разных интервалов проходки скважины.

Наиболее употребительными в СНГ тяжелыми станками ударно-канатного бурения являются: УКС-22, УКС-20с, БУ-20-2, позволяющие проходить глубокие скважины большого диаметра. Легкие станки УА-75 и УА-150

рассчитаны на бурение неглубоких скважин. Среди зарубежных моделей типичными разведочными ударно-канатными агрегатами являются станки Кийстон, обычно используемый на разведке россыпных месторождений, и Армстронг, применяемый главным образом при бурении в крепких породах.

Диаметры скважин при ударно-канатном бурении колеблются от 100 до 600 мм. Глубина скважин большей частью не превышает 1000 м. Наиболее эффективна работа ударно-канатных станков при глубине до 200 м; глубже производительность бурения значительно снижается и работы удорожаются. Хотя ударно-канатным способом можно бурить скважины в любых породах, однако наибольший технико-экономический эффект он дает в крепких породах при глубинах скважин 100—150 м.

Другие виды механического бурения — роторное и турбинное — широко применяются при разведке нефтяных и газовых месторождений. Роторное бурение обычно используется при проходке буровых скважин на нефть. Эти скважины в ряде случаев имеют не только эксплуатационное значение, но и разведочное. Турбинное бурение — наиболее производительное; с его помощью в СНГ проходится более 85% скважин на нефть и газ. Главное техническое преимущество турбобура состоит в том, что вращающаяся часть бурового снаряда находится на нижнем его конце, у забоя. Скорость проходки буровых скважин турбобуром в 3—4 раза превышает скорость проходки роторным способом.

Сравнительно широко в разведочном деле используются простейшие комплекты бурового инструмента, предназначенные для ударно-вращательного бурения. Многие объекты разведки (россыпи, торф, вода и т. п.), не требующие больших объемов буровых работ и глубоких скважин, в труднодоступных местах (болота, отдаленные районы золотой промышленности и т. п.) эффективно изучаются при помощи ручного бурения. Этот вид бурения применим в рыхлых породах при глубине скважин преимущественно 10—15 м (и не более 30 м), когда механическую буровую установку использовать нецелесообразно.

Ручное бурение подразделяется на два вида: ударное и вращательное. Часто эти два вида комбинируются, и скважина в зависимости от изменчивости геологического разреза проходится то долотом, то змеевиком (шнеком). Скорость проходки скважин ручного бурения в рыхлых и мягких породах колеблется от 0,25 до 6,5 м в час чистого бурения.

Одной из проблем буровой техники является механизация ручного бурения, т. е. внедрение таких приспособлений и малых вспомогательных механизмов, которые бы облегчили тяжелый труд рабочих и одновременно повысили производительность этого вида бурения. В качестве приспособлений для механизации ручного бурения могут служить вибромашины (табл. 9), с помощью которых бурятся скважины глубиной до 20—25 м с отбором образцов с ненарушенной структурой. Скорость бурения скважин с помощью вибромашин достигает 1—2 м в минуту.

С целью механизации ручного бурения применяется шнек с приводом от автомашины (шнековое бурение). Для этого в СНГ сконструированы несколько станков, среди которых станки УГБ-50 и УШБ-15 хорошо оправдали себя на практике, особенно при работе в безводных местностях.

Общими проблемами для всех видов разведочного бурения являются:

1. Получение наиболее достоверных данных о полезном ископаемом, а также об условиях его залегания и, следовательно, о геологическом разрезе в пункте бурения скважины. Для этого применяются различные приемы и средства, способствующие увеличению выхода керна и препятствующие загрязнению бурового шлама.

2. Крепление стенок скважины в процессе бурения, необходимое для безаварийной проходки разведочной скважины. С этой целью осуществляются обсадка скважины трубами, глинизация и цементация скважин.

3. Выяснение характера кривизны буровой скважины, особенно необходимое для больших глубин, и управление искривлением скважин.

4. Повышение темпов проходки буровых скважин и производительности буровых агрегатов.

Первая проблема, касающаяся получения наиболее достоверных результатов разведочного бурения, затронута выше в связи с вопросом о выходе керна и соблюдении чистоты шлама. (Глубокое разведочное бурение выполняет две методические задачи: 1) геологопоисковую и 2) разведочного опробования. Практически только в последнем случае нужен высокий процент выхода керна и сбор шлама.)

Второй важной проблемой бурения, не поддающейся стандартному решению, является крепление стенок скважины. Уже укоренилось в практике бурение скважин с промывкой глинистым раствором. Это прекрасное профилактическое средство против потерь промывочной жидкости в трещинах и порах пород и против мелких вывалов разрушенных горных пород из стенок скважин. В сильно нарушенных породах, когда над скважиной нависает угроза аварий из-за крупных вывалов, применяется глинизация или цементация. Первая представляет собой ту же промывку глинистым раствором, но уже более вязким. Вторая осуществляется путем заливки в скважину цемента и последующего его разбуривания, обычно тем же диаметром, в результате чего внутри скважины образуется как бы цементная тонкостенная трубка, закрепляющая стенки скважины в опасном интервале. Наконец, наиболее надежным средством является крепление скважины обсадными трубами. Однако последнее средство дорогое и приводит к значительным потерям металла (труб) в скважинах.

Большинство скважин, особенно при колонковом бурении, в большей или меньшей степени отклоняется от заданного направления, или «искривляется». Причинами искривления скважин являются, с одной стороны, геологические условия (неоднородность горных пород, их трещиноватость, слоистость и сланцеватость), с другой—технические (перекос направляющей

трубы, неправильная забурка скважины, неправильно составленный буровой снаряд, чрезмерное давление на забой и т. п.).

Искривление скважин имеет две составляющие: вертикальную (зенитное искривление) и горизонтальную (азимутальное искривление). Обычно не само искривление скважины наносит ущерб точности и достоверности разведочных разрезов и построений, а недостаточно точный учет этого искривления, особенно в глубоких скважинах. Таким образом, первая часть проблемы, связанной с искривлением скважин, состоит в наиболее точном измерении кривизны скважины как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. Вторая часть проблемы названа «управлением кривизной скважины», под которым понимается принудительное изменение ее направления на различных интервалах проходки с определенными разведочными целями. Это достигается путем различного рода отклонений бурового снаряда от прежнего направления. Следует отметить, что на практике не всегда удается точно выяснить характер кривизны скважины или искривить ее в строго заданном направлении.

Увеличение темпов бурения и производительности каждого агрегата Всегда желательно с технико-экономической точки зрения. Этой идее и подчинено ускорение вращения шпинделя станка при колонковом бурении до 600—700 об/мин и даже до 1500 об/мин с мелкоалмазной коронкой. Этой идее подчинено и конструирование новых типов станков и т. п. Однако не следует забывать, что повышение темпов бурения допустимо только при сохранении качественных показателей, к которым в условиях разведки, помимо безаварийной работы, относится высокий выход керна и выполнение всех необходимых измерений и исследований на скважине. В противном случае, как это не раз бывало на практике, скважины могут оказаться пробуренными быстро, но бесполезно и, следовательно, будут впустую затрачены немалые средства.

Основные положения, которые нужно иметь в виду при проектировании разведочных скважин, состоят в следующем:

1. Скважина должна достигать тела полезного ископаемого по кратчайшему расстоянию.

2. Угол встречи скважины с контактом (с линией простирания и с линией падения) не должен быть очень малым (желательно не меньше 30° , в крайнем случае 20°).

3. Отправной точкой для проектирования скважины должна быть заданная глубина пересечения ею рудного тела, откуда с учетом возможного Искривления в данных условиях скважина должна быть «вынесена» на поверхность. Подобный подход к проектированию наклонных колонковых скважин особенно важен в условиях сложного рельефа и при необходимости пересечения рудного тела под большим углом (что характерно для крутопадающих тел).

Буровые скважины проходятся в 2—3 раза быстрее и стоят в 3—4 раза дешевле подземных горных выработок. Однако по геологическим результатам бурение уступает первенство проходке горных выработок. Разумное сочетание этих двух важнейших средств разведки дает наилучший технико-экономический эффект и обеспечивает высокое качество разведочных работ.

5. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Геофизические методы как способы разведки месторождений полезных ископаемых получили широкое развитие в современном разведочном деле. Результаты геофизических исследований весьма важны для составления разведочных разрезов и для оконтуривания площади распространения полезного ископаемого, особенно в началь- ный период разведки, до проходки выработок.

Для прослеживания и оконтуривания отдельных тел полезных ископаемых или продуктивных площадей как в плане, так и в раз- резах используются различные геофизические методы. Сущность этих методов и подробности их применения, а также соответствующая аппаратура описаны в специальных курсах прикладной геофизики. Здесь излагаются только краткие сведения о применении методов геофизики для решения некоторых разведочных задач и о полученных результатах.

Гравиметрические работы крупных масштабов на земной поверхности дают возможность очерчивать рудные поля и отдельные крупные залежи полезных ископаемых по контурам аномалий силы тяжести. Четко оконтуриваются образования с повышенной избыточной плотностью, такие, как железорудные месторождения Кривого Рога, залежи хромита, медноколчеданные тела, богатые свинцо-цинковые залежи, как, например, подводное Горевское месторождение, оконтуренное гравиметрической съемкой на льду р. Ангары.

В подземных горных выработках используются гравиметр и гравитационный вариометр для выявления тел полезных ископаемых между горными выработками. При этом, если центр тяжести массивного рудного тела расположен ниже горизонта наблюдений, то оно отмечается положительной гравитационной аномалией, если выше — аномалия получается отрицательная.

Магнитометрические работы позволяют оконтуривать рудоносные зоны и отдельные тела с высокой точностью, если магнитные их свойства резко отличаются от свойств окружающих горных пород. Комплексные магнитометрические и гравиметрические исследования, проведенные в 1933—1934 гг. на площадях Курской магнитной аномалии (КМА), позволили подсчитать запасы железных руд одного из участков в количестве 145 млн. т, а запасы более бедных железистых кварцитов Лебединского узла по данным геофизики были определены в сумме 8,5 млрд. т. Первая же буровая скважина в районе Старого Оскола подтвердила наличие рудного тела

большой мощности. Так впервые в СНГ были применены геофизические средства для разведки железорудных месторождений, давшие практический результат.

Магнитометрические работы позволяют оконтуривать крупные залежи медно-никелевых руд, обладающие повышенной магнитностью благодаря присутствию в них пирротина. Хорошие результаты дает магнитометрия для оконтуривания алмазоносных кимберлитовых трубок в Якутии. Ряд выходов этих трубок, отмеченных аэромагнитной съемкой, затем был детально очерчен наземными крупномасштабными магнитометрическими работами.

Сейсмометрические работы в процессе разведки хотя и играют вспомогательную роль, но имеют большое значение для выявления и оконтуривания залежей нефти и солей в сложных структурных условиях. Многие залежи нефти были оконтурены сейсмометрическим методом. Соляные купольные образования успешно очерчиваются сейсмометрией — методом регулируемого направленного приема (РНП) с последующей проверкой единичными буровыми скважинами, что предохраняет залежи солей от порчи, неизбежной при бурении многочисленных скважин.

Электрометрические работы являются наиболее распространенным видом геофизических исследований в процессе-разведки разнообразных месторождений полезных ископаемых. Для изучения структуры месторождения успешно применяются детальные измерения методами электропрофилирования и естественного поля. Для выявления, оконтуривания, установления элементов залегания отдельных тел или их частей применяются методы заряженного, тела, вызванной поляризации и радиопросвечивания.

Применение других методов электрометрии в процессе разведки также иногда дает возможность составить представление о пространственном положении и размерах тел полезных ископаемых. Так, методом съемки срединного градиента прослеживались слюдоносные пегматитовые жилы в Восточной Сибири, длина которых при этом определялась с погрешностью 10—15%.

Все перечисленные способы разведки месторождений полезных ископаемых с применением геофизических технических средств имеют одну общую особенность, отличающую их от способов разведки при помощи горных разведочных выработок или буровых скважин.

Геофизические методы могут применяться для разведки глубинных частей месторождения, для прослеживания и оконтуривания залежей полезных ископаемых только в сочетании с проходкой хотя бы единичных буровых скважин или подземных горных выработок. Без последних, позволяющих установить качество полезного ископаемого и значение геофизической аномалии, геофизические способы не могут дать исчерпывающего решения задач разведки. Поэтому на практике они всегда комплексированы со способами разведки при помощи горных выработок или

буровых скважин, с минералого-петрографическими и химическими исследованиями тел полезных ископаемых и вмещающей среды.

ПРИЛОЖЕНИЕ

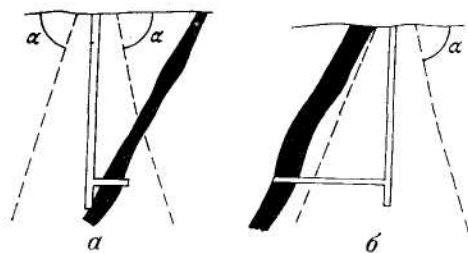


Рис. 1. Разведочное вскрытие.

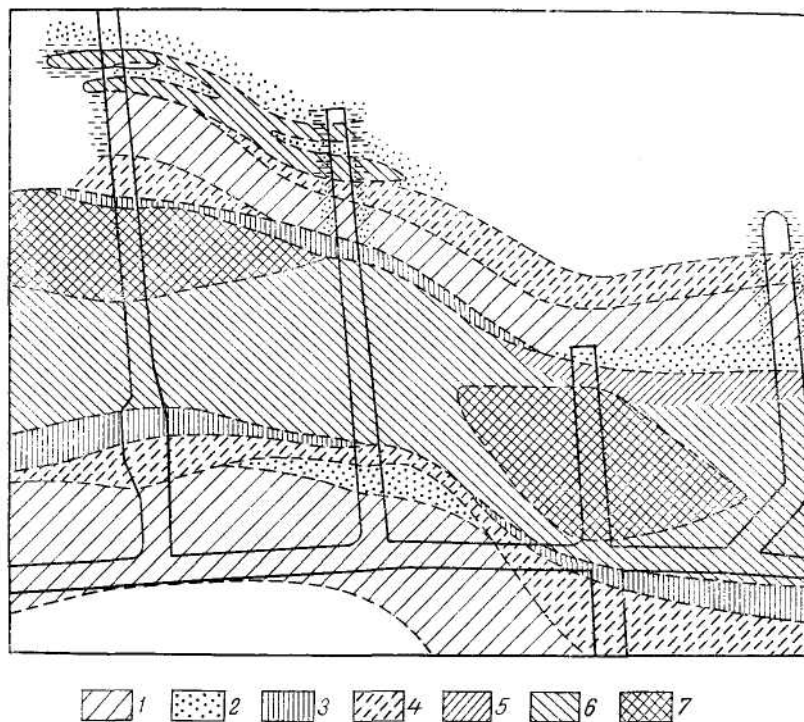


Рис. 2. Штрек с ортами, пересекающими параллельные рудные тела (по Ю. Г. Гершойгу)
1 — роговики; 2 — джеспилиты; 3—7 — различные сорта железных руд

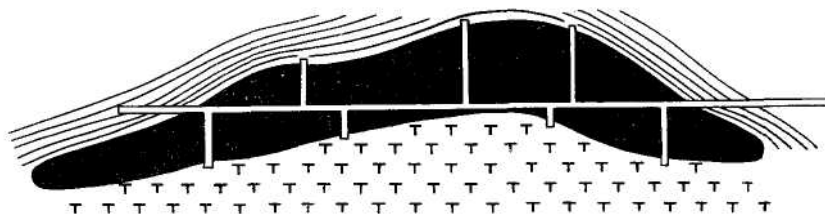


Рис. 3. Восстающие и гезенки, пройденные из горизонтальной выработки для пересечения пологой рудной залежи

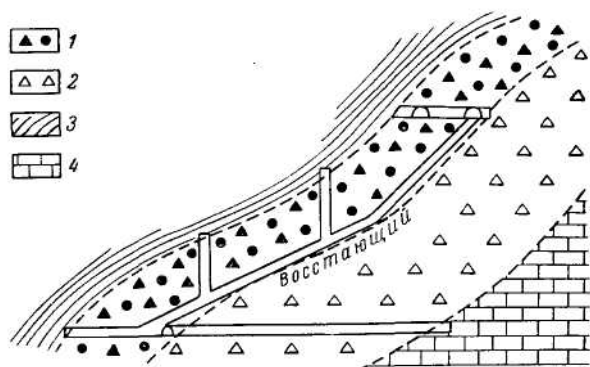


Рис. 4. Наклонный восстающий по рудному телу (по А. К. Полякову)
 1 — оруденелая брекчия промышленная; 2 — оруденелая брекчия непромышленная; 3—сланцы; 4— известняки

СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ

Под системой разведочных работ понимается такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и провести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого.

Из этого определения вытекают два важных обстоятельства: во-первых, системой разведки не могут быть названы беспорядочно расположенные разведочные выработки, которые не дают возможности с достаточной достоверностью выяснить формы, условия залегания и качество полезного ископаемого; во-вторых, только такая совокупность разведочных средств (горных, буровых и геофизических) может быть названа системой разведки, которая позволяет с достаточной достоверностью подсчитать запасы полезного ископаемого.

Выбор тех или иных средств разведки зависит от многих факторов и прежде всего от формы, условий залегания и степени изменчивости свойств полезного ископаемого. В соответствии с этим имеется довольно большое разнообразие систем разведочных работ, которые целесообразно рассматривать по группам:

1. Группа буровых систем.
2. Группа горных систем.
3. Группа горнобуровых систем.

ГРУППА БУРОВЫХ СИСТЕМ

Бурение скважин является основным средством разведки, но осуществление разведки исключительно буровыми скважинами возможно лишь на месторождениях, обладающих устойчивыми формами, большими размерами, непрерывностью тела полезного ископаемого и относительно равномерным его качеством. В противном случае, при неустойчивых формах и резкой прерывистости минерализации, свойственной многим месторождениям цветных, редких и драгоценных металлов, невозможна сколько-нибудь надежная интерполяция данных между двумя смежными разведочными скважинами.

Можно назвать четыре основных вида буровых систем, применяемых в зависимости от геологических особенностей объекта разведки:

- I. Системы мелких вертикальных скважин.
- II. Системы глубоких вертикальных скважин.
- III. Системы наклонных скважин.

IV. Системы глубоких скважин переменной кривизны. Различия в технических средствах разведки накладывают отпечаток и на системы разведочных работ. Поэтому целесообразно внутри каждого из названных видов различать буровые системы по типу применяемых буровых агрегатов, так как и производительность труда и эффективность разведки зависят от характера используемого оборудования. Следует также иметь в виду, что в

понятие «система разведки» входит тип геофизических измерений как важное средство разведки.

I. Системы мелких вертикальных скважин применяются для разведки неглубоко залегающих пологих и горизонтальных плоских тел полезного ископаемого, обычно с относительно малой изменчивостью качества: месторождений озер но-болотных руд, глин, песков, месторождений коры выветривания, водоносных горизонтов, россыпей и т. п. Наибольшее применение эти системы находят при разведке сильно обводненных долинных россыпей золота.

Эти разведочные скважины чаще всего не выходят из пределов молодых рыхлых отложений. Глубина их составляет 10—15 м, реже достигает 20—30 м. Располагаются они главным образом вдоль разведочных линий (параллельных и близких к параллельным), которые обычно прокладываются поперек продуктивной зоны, захватывая всю ее ширину. Такая ориентировка разведочных линий в большинстве случаев совпадает с направлением наибольшей изменчивости тела полезного ископаемого (рис. 1). Реже буровые скважины располагаются по какой-либо правильной сети.

По техническим средствам разведки среди систем мелких вертикальных скважин следует выделить три типичные разновидности:

Iа. Система мелких вертикальных скважин вращательного бурения осуществляется буром Эмпайр или шнековым механическим устройством.

Iб. Система мелких вертикальных скважин комбинированного ударного и вращательного бурения реализуется с помощью простейшего бурильного комплекта или с применением малой механизации (вибратор).

Iв. Система мелких вертикальных скважин механического ударно-канатного бурения проводится с помощью самоходных станков.

II. Системы глубоких вертикальных скважин служат для разведки глубоко залегающих, в общем пологих плоских тел полезного ископаемого и месторождений изометрической формы типа крупных штокверков. Примерами объектов, благоприятных для применения данных систем, могут служить: платформенные месторождения углей, погребенные крупные россыпи, залежи бокситов, пластообразные тела медистых песчаников типа джезказганских, штокверки медно-порфировых руд типа коунрадских, многие пласты нерудных полезных ископаемых. Исключительно широко эти системы применяются при разведке нефтяных месторождений и артезианских вод.

Системы глубоких вертикальных скважин обычно охватывают глубины от 70 до 1000 м. Большие глубины характерны лишь для разведки нефтяных и некоторых соляных месторождений. Кроме того, скважины глубиной свыше 1000 м в большинстве случаев испытывают столь значительные произвольные и часто неожиданные искривления, что сочетание таких скважин не может быть названо системой вертикальных скважин.

Располагаются буровые скважины преимущественно по какой-либо разведочной сети, а также по параллельным и реже разноориентированным разведочным линиям. Преимущественное расположение выработок по правильной, чаще всего квадратной, разведочной сети в этой системе определяется тем, что в большинстве случаев для пластообразных и штокверковых, часто изометричных тел, особенно для тех, которые залегают на значительных глубинах и не имеют выхода на дневную поверхность, невозможно определить характер анизотропии в отношении изменчивости свойств до окончания разведки.

При разведке глубокими вертикальными скважинами применяются совершенно другие буровые агрегаты по сравнению с бурением мелких разведочных скважин. По типу буровых агрегатов целесообразно различать четыре системы глубоких вертикальных скважин:

IIa. Система глубоких вертикальных скважин ударно-канатного бурения проходится с помощью тяжелых ударно-канатных станков. Система применяется в тех случаях, когда не обязательно получение керна. Может быть рекомендована для пород любой крепости, но наиболее эффективна в крепких и очень крепких, особенно в трещиноватых породах. Громоздкость и большой вес ударно-канатных агрегатов часто служат препятствием широкому применению данной системы в горной местности. Каротаж скважин в большинстве случаев обязателен. Эта важная для штокверковых месторождений буровая система в СНГ несправедливо игнорируется.

IIб. Система глубоких вертикальных скважин колонкового бурения применяется при необходимости получения керна. В качестве буровых агрегатов используются обычные станки колонкового бурения. Система применима в породах любой крепости. Часто необходим коротаж для корректирования данных, полученных по интервалам с неполным выходом керна. Особенно хорошие результаты эта система дает при разведке каменноугольных бассейнов на площадях пологого залегания углей.

IIв. Комбинированная система скважин ударно-канатного и колонкового бурения оказывается рациональной в тех случаях, когда необходимо получить как можно больше материала для массовых проб и детально изучить геологический разрез, характер минерализации и внутреннее строение залежи полезного ископаемого. Первое условие обеспечивается ударно-канатным бурением с достаточно большим диаметром скважин. Вторая задача лучше всего решается с помощью скважин колонкового бурения (по керну). Отношение количества колонковых скважин к ударно-канатным колеблется от 1 : 1 до 1 : 10 в зависимости от сложности геологического строения месторождения, его размеров и задач опробования. Эта система применима к штокверковым месторождениям и некоторым другим.

Другая модификация данной системы представляет собой сочетание обоих видов бурения в одной скважине, когда, например, верхняя часть скважины проходится в породах, неблагоприятных для колонкового бурения

(галечники или очень крепкие породы), особенно если для них не требуется керн, а нижняя, проходима по полезному ископаемому, бурится с отбором керна. Есть и специальные станки для применения комбинированного бурения.

IIг. Система глубоких вертикальных скважин роторного и турбинного бурения используется для разведки нефти и газа.

III. Системы наклонных скважин применяются для разведки крутопадающих и наклонных плоских тел полезного ископаемого — пластовых, жилообразных и линзообразных. В чистом виде эти системы применяются редко (для некоторых каменноугольных районов), так как верхние части такого рода месторождений обычно вскрываются горными выработками. Они часто используются для доразведки месторождений, эксплуатировавшихся в верхней части старыми рудниками (рис. 2,а).

Характерной особенностью данных систем является различная глубина скважин и различный угол их наклона в зависимости от геологических условий залегания месторождения. Эта особенность вытекает из принципа равномерности, ибо равномерное расположение пунктов пересечения крутопадающего тела полезного ископаемого на различных глубинах требует различной длины скважин (рис. 2б), а изменение угла падения пластообразных тел и продуктивных зон вызывает необходимость изменения угла наклона скважин. Обычно глубины наклонных буровых скважин колеблются в пределах 50—1200 м. Скважины более глубокие вследствие произвольных искривлений требуют иного подхода к проходке и рассматриваются ниже, в другой группе систем.

Скважины задаются преимущественно по разведочным линиям, ориентированным вкрест простирания тела полезного ископаемого или продуктивной зоны. Иногда сближенное положение таких разведочных линий в совокупности преобразуется в правильную разведочную сеть.

Системы наклонных скважин проходятся с помощью агрегатов колонкового бурения и существенных различий по виду применяемого оборудования не имеют.

IV. Системы глубоких скважин переменной кривизны пока не имеют широкого распространения в разведочной практике, но, вероятно, им принадлежит большое будущее, поскольку разведочные и горные работы уходят на все большие глубины, где желательно по мере надобности изменять угол наклона буровых скважин. В настоящее время скважины переменной кривизны под названием «скважин наклонно-направленного бурения» проходятся при разведке на нефть, при инженерных и других специальных изысканиях (когда они задаются под реки, под строения и т. п.), а также при глубоких разведках рудных месторождений с большой изменчивостью качества.

Сущность такой системы состоит в том, что буровым скважинам на разных интервалах глубины придаются различные углы наклона в соответствии с задачами разведки. Таким образом, скважина, заданная

вначале вертикально, принудительно искривляется под любым углом или, наоборот наклонная скважина на некоторой глубине превращается в вертикальную.

Бурение такого рода скважин и формирование соответствующих буровых систем стало возможным с внедрением в практику разведочных работ турбинного бурения. Правда, пока еще использование турбинного бурения при разведке полезных ископаемых ограничивается бурением на нефть. Но, безусловно, этот прогрессивный вид бурения, а с ним и соответствующие системы буровых работ найдут широкое применение и при разведке твердых полезных ископаемых, особенно на больших глубинах.

7. ГРУППА ГОРНЫХ СИСТЕМ

Горными системами осуществляется полная и наиболее достоверная разведка месторождений. Нередко горными работами вновь «создавались» месторождения или переоценивались забракованные в результате бурения рудники (например, Ивановский и др. в Восточном Забайкалье). Однако, поскольку проходка горных выработок требует значительных затрат времени и средств, применение горных систем в чистом виде обычно ограничивается сложными телами полезных ископаемых, весьма неустойчивыми по формам и с крайне неравномерным распределением полезного ископаемого.

Горные системы группируются в три вида:

V. Системы разведочных шурфов.

VI. Системы разведочных штолен.

VII. Системы разведочных шахт.

Внутри каждого вида различаются модификации, зависящие главным образом от характера и геологических условий залегания полезного ископаемого.

V. Системы разведочных шурфов по условиям их применения подобны системам мелких буровых скважин: они служат для разведки пологих близповерхностных тел полезных ископаемых. Но использование шурфов вместо разведочных скважин целесообразно лишь в тех случаях, когда тела полезного ископаемого обладают сильной изменчивостью качества и сложным внутренним строением. Важным условием применения системы шурфов является безводность или слабая обводненность разведочного участка.

Помимо применения к мелко залегающим месторождениям (кирпичные глины), целесообразно использовать шурфы в условиях особой дешевизны их проходки (дудки для разведки каолина).

Глубины, до которых разведка шурфами достаточно экономична, составляют 15—20 м; глубже работы значительно удорожаются. Ориентировочным пределом применения данной системы следует считать среднюю глубину шурфов 30 м.

Расположение разведочных шурфов обычно линейное, но для месторождений с неясной анизотропией свойств (месторождения коры

выветривания, делювиальные россыпи и т. п.) нередко применяется и правильная разведочная сеть.

Можно различать две разновидности систем разведочных шурфов:

Va. Система простых шурфов, подобно буровым скважинам, призвана произвести ряд пересечений тела полезного ископаемого.

Vб. Система шурфов с рассечками представляет собой более сложное сочетание разведочных выработок и более надежно освещает подземную ситуацию и внутреннее строение полезного ископаемого (рис. 3). Особенно характерна система шурфов с квершлагами.

VI. Системы разведочных штолен возможны лишь на местности с расчлененным рельефом и применяются для самых разнообразных по формам и условиям залегания тел полезного ископаемого. Сущность разведки штольнями состоит в создании серии горизонтальных сечений (разрезов) тела полезного ископаемого. Поэтому, если поперечные разрезы тела полезного ископаемого превышают габариты штольни, то от нее в обе стороны проходятся рассечки до пересечения контакта полезного ископаемого с вмещающими горными породами (рис.4). Расстояние между разведочными штольнями по вертикали зависит от вероятной высоты этажа при будущей эксплуатации разведываемого месторождения. Обычно его рационально принимать равным двойной и даже тройной высоте эксплуатационного этажа.

Глубина, до которой можно вести разведку собственно штольнями, определяется степенью расчлененности рельефа; в общем случае она равна расстоянию от выхода полезного ископаемого на самой высокой точке месторождения до самой низкой отметки рельефа на разведочном участке. Глубже система разведки уже приобретает комбинированный характер, переходя в сочетание штольни со слепой разведочной шахтой или гезенком.

Следует выделить три основные разновидности систем разведочных штолен:

VIa. Система штолен, прокладываемых по простиранию продуктивной зоны, удобна в тех случаях, когда вкрест простирания последняя обнажена (разрезана) горным распадком или речной долиной.

VIб. Система штолен квершлагного типа применяется в случае расчлененности рельефа вдоль продуктивной зоны месторождения. Штольня проводится вкрест простирания тела полезного ископаемого (зоны), и от места пересечения его штольней задаются штреки по простиранию.

Конечно, проходятся штольни и под углом к простиранию рудного тела.

VIв. Система штолен со слепой шахтой на нижнем горизонте представляет собой уже комбинированную систему и применяется в тех случаях, когда тело полезного ископаемого погружается ниже самой низкой отметки разведочного участка (рис. 5).

VII. Системы разведочных шахт оказываются рациональными в тех случаях, когда другим, более дешевым путем невозможно разведать

месторождение. Основными условиями применения системы разведочных шахт являются относительно ровный рельеф поверхности и глубокое залегание крайне изменчивых тел полезного ископаемого (редких и драгоценных металлов и минералов).

Сама шахта не является разведочной выработкой. Она предназначена лишь для вскрытия месторождения (и впоследствии может использоваться для вспомогательных эксплуатационных целей). Основное разведочное назначение выполняют выработки, задаваемые из шахты в виде квершлагов и штреков. Эти последние нарезаются подобно штольням через определенные интервалы по глубине и также создают серию горизонтальных сечений тела полезного ископаемого.

Глубины разведочных шахт обычно не превышают 150—200 м. Более глубокие горизонты месторождения разведываются системой шахт уже в процессе эксплуатации, когда горные выработки проходятся на глубину одновременно и для разведки и для разработки месторождения.

По характеру и сочетаниям подземных горных выработок, применяемых в зависимости от геологического строения месторождения, различаются три разновидности систем разведочных шахт:

VIIa. Система вертикальных разведочных шахт с квершлагами широко распространена в практике. Шахты обычно задаются в лежащем боку месторождения и с помощью квершлагов достигают тела полезного ископаемого на различных горизонтах. От квершлагов развивается сеть штреков, ортов и других подземных выработок (рис. 6).

VIIб. Система вертикальных разведочных шахт, пересекающих продуктивную зону, применяется для разведки пологих, часто слепых тел полезного ископаемого типа джезказганских медистых песчаников или доннор залежи медно-никелевых руд Монче-тундры. В этом случае от ствола шахты в пункте пересечения продуктивной зоны проходятся горизонтальные или наклонные (в зависимости от геологического строения месторождения) подземные выработки в виде штреков, уклонов и расщелин из них (рис. 7).

VII в. Система наклонных шахт осуществляется путем проведения последних по направлению падения плоского тела полезного ископаемого. От шахты по телу полезного ископаемого на различных горизонтах проходятся штреки и другие подземные выработки (рис. 8).

8. ГРУППА КОМБИНИРОВАННЫХ ГОРНОБУРОВЫХ СИСТЕМ

Большинство месторождений черных, цветных, редких и драгоценных металлов и многие месторождения неметаллических полезных ископаемых разведываются с помощью буровых и горных разведочных выработок. Горнобуровые разведочные системы, представляющие собой рациональное сочетание тех или иных горных и буровых выработок, наиболее широко распространены в разведочной практике. В зависимости от степени изменчивости свойств полезного ископаемого в одних системах преобладают горные выработки, в других — буровые скважины.

Разнообразие технических средств разведки и их возможных сочетаний обуславливает обилие более или менее отличных друг от друга горнобуровых, разведочных систем. Здесь обращается внимание на наиболее распространенные виды комбинированных горнобуровых систем:

VIII. Системы мелких вертикальных скважин с контрольными шурфами-

IX. Системы разведочных штолен и буровых скважин.

X. Системы разведочных шахт и буровых скважин.

VIII. Системы мелких вертикальных скважин-с контрольными шурфами находят применение в тех же условиях, что и системы мелких скважин или системы шурфов. В данной; комбинированной системе шурфы служат для подтверждения данных, полученных бурением, а поэтому их назначение главным образом контрольное;. Обычно количество шурфов составляет 5—10% от количества буровых, скважин.

Шурфы следует располагать по разведочной буровой сети и в пунктах уже пройденных скважин (т. е. сопряженных). Этим путем контролируются не только средние величины, полученные по данным буровых скважин, но также частные значения мощностей полезного ископаемого и содержаний полезных компонентов по отдельным скважинам, сопряженным с шурфами.

IX Системы разведочных штолен и буровых скважин чаще всего применяются на месторождениях, погружающихся на большие глубины, когда верхняя часть месторождения разведывается штольнями, а нижняя — буровыми скважинами. При этом возможны две основные модификации систем:

IXа. Система штолен и наклонных буровых скважин, задаваемых с поверхности, удобна при падении тела полезного ископаемого в сторону понижения рельефа.

IXб. Система штолен и наклонных буровых скважин подземного бурения, задаваемых с нижних разведочных горизонтов, рациональна при падении тела полезного ископаемого в сторону, противоположную понижению рельефа (рис. 9).

X. Системы разведочных шахт и буровых скважин характерны для разведки крутопадающих и уходящих на большие глубины продуктивных зон и отдельных тел полезного ископаемого при ровной поверхности разведочного участка. В таких условиях проходка очень глубоких шахт для разведочных целей неприемлема, а разведка только буровыми скважинами для многих месторождений ненадежна. Поэтому верхняя часть месторождения разведывается какой-либо системой разведочных шахт, а нижняя — буровыми скважинами. При этом, так же как в случае комбинирования бурения со штольнями, различаются две разновидности систем:

Ха. Система разведочных шахт и буровых скважин, задаваемых с поверхности (рис. 10).

Хб. Система разведочных шахт и буровых скважин подземного бурения (рис. 11).

Кроме перечисленных главных систем разведочных работ, существует несколько комбинаций подземных горных разведочных выработок с горизонтальными буровыми скважинами, заменяющими рассечки и орты, а также другие сочетания различного рода горных выработок и буровых скважин, имеющие второстепенное значение.

ПРИЛОЖЕНИЕ

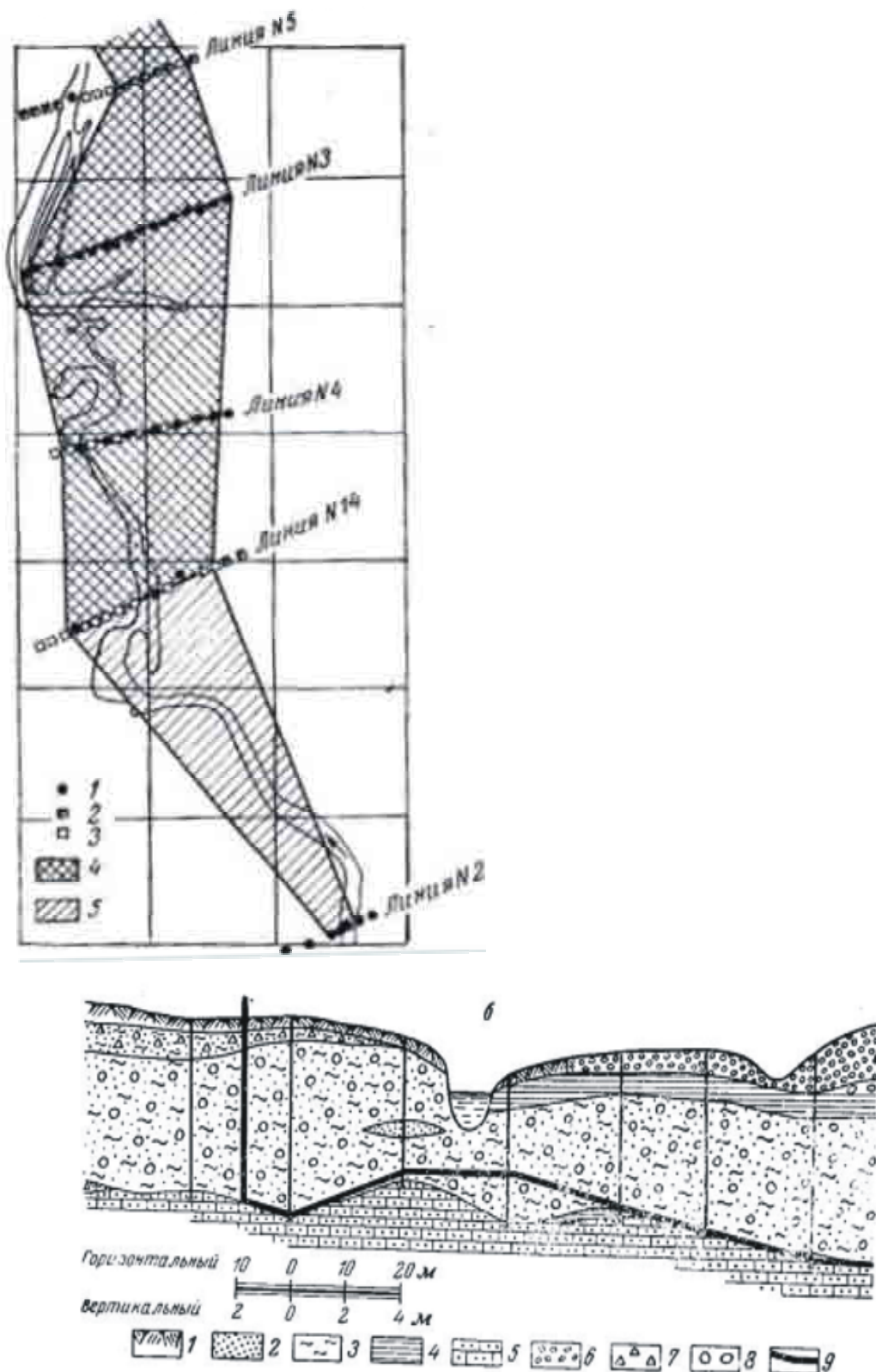


Рис. 1. Система разведки россыпи мелкими вертикальными скважинами (по В. И. Смирнову) а — план: 1—скважина; 2—шурф; 3—шурфоскважина; 4—запасы категории В; 5—запасы категории C₁;

б — профиль части разведочной линии: 1 — растительный слой; 2 — пески; 3 — глины; 4 — суглинки; 5 — песчаники; 6 — галечники; 7 — щебень; 8 — валуны; 9 — граница промышленной части россыпи

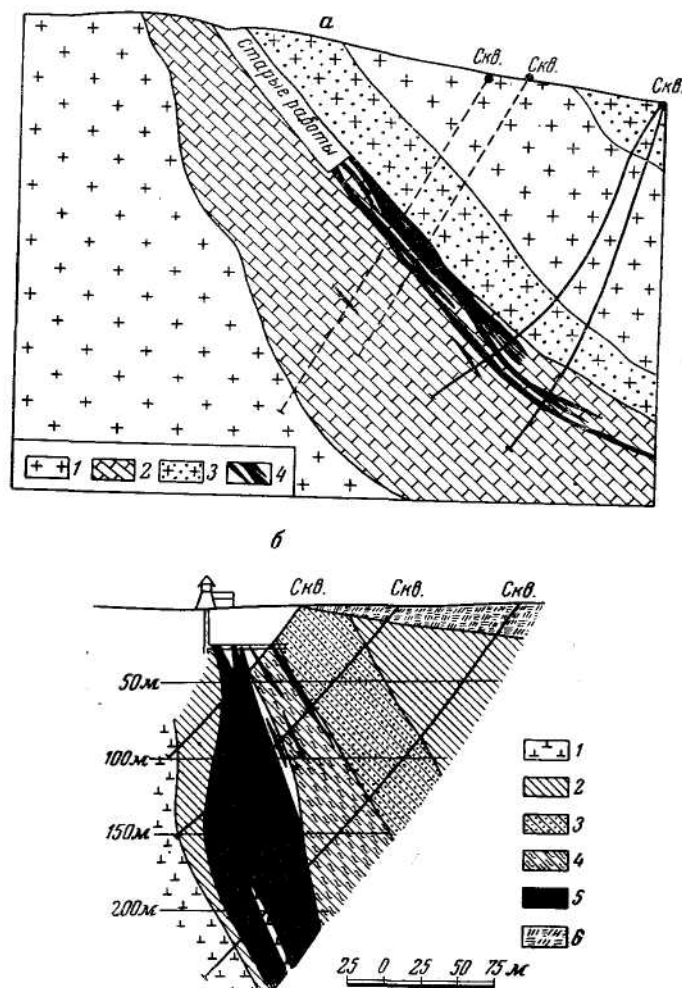


Рис. 2. Система наклонных буровых скважин
 а — система доразведки жил Савинского месторождения: 1 — кварцевые диориты; 2 — известняки; 3 — сланцы и кварциты; 4 — рудные тела
 б — система разведки медистых колчеданов: 1 — альбитофиры, 2 — сланцы; 3 — сланцы окварцованные; 4 — сланцы пиритизированные; 5 — колчедан; 6 — бурые глины.

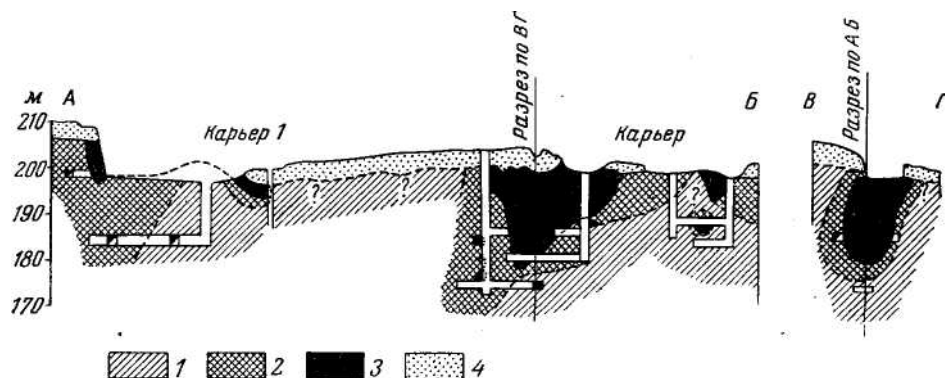


Рис. 3. Система шурфов с рассечками на месторождении Семиз-Бугу (по П. М. Татаринову)
 1 — вторичный кварцит; 2 — андалузитовая порода; 3 — залежи корунда; 4 — делювий

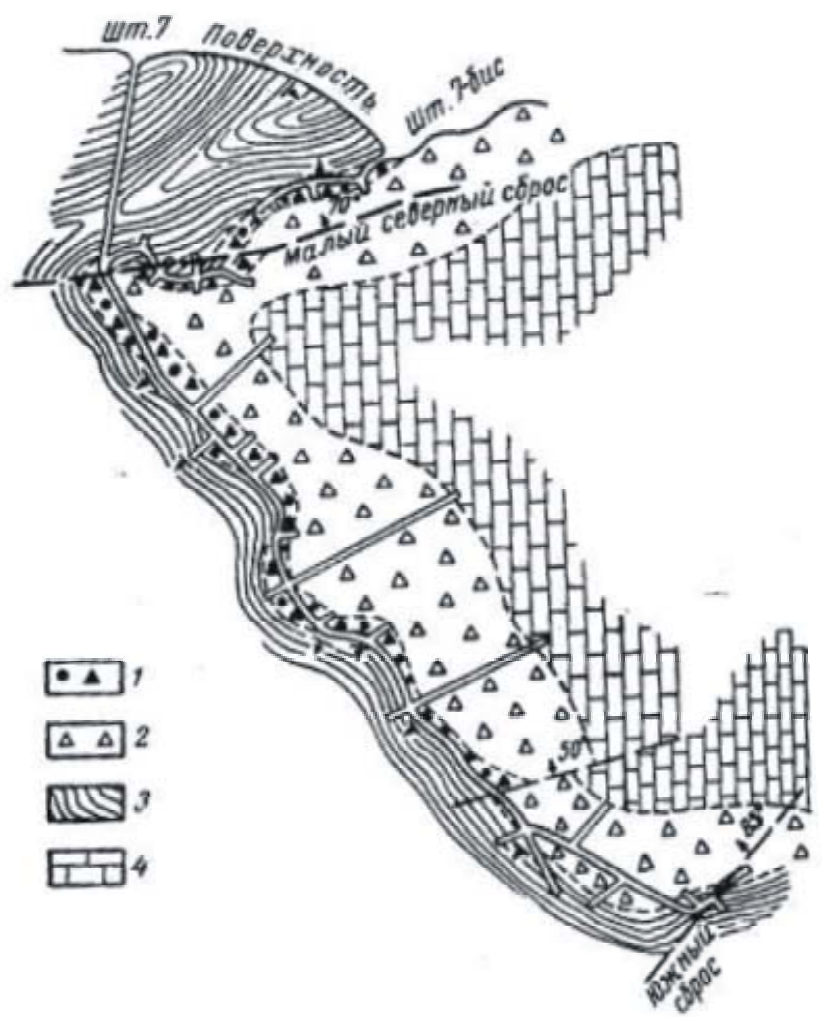


Рис. 4. Разведка штольной с рассечками (по А. К. Полякову)
 1 — оруденелая брекчия промышленная; 2 — оруденелая брекчия непромышленная; 3 — сланцы; 4 — известняки

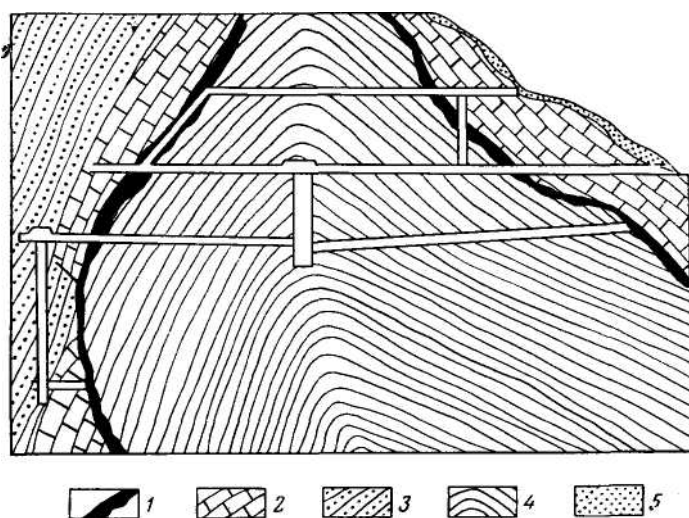


Рис. 5. Система разведки штольнями со слепыми шахтами (по П. М. Татарину)
 1 — тальк; 2 — известняк; 3 — граувакка; 4 — графитовый сланец; 5 — делювий

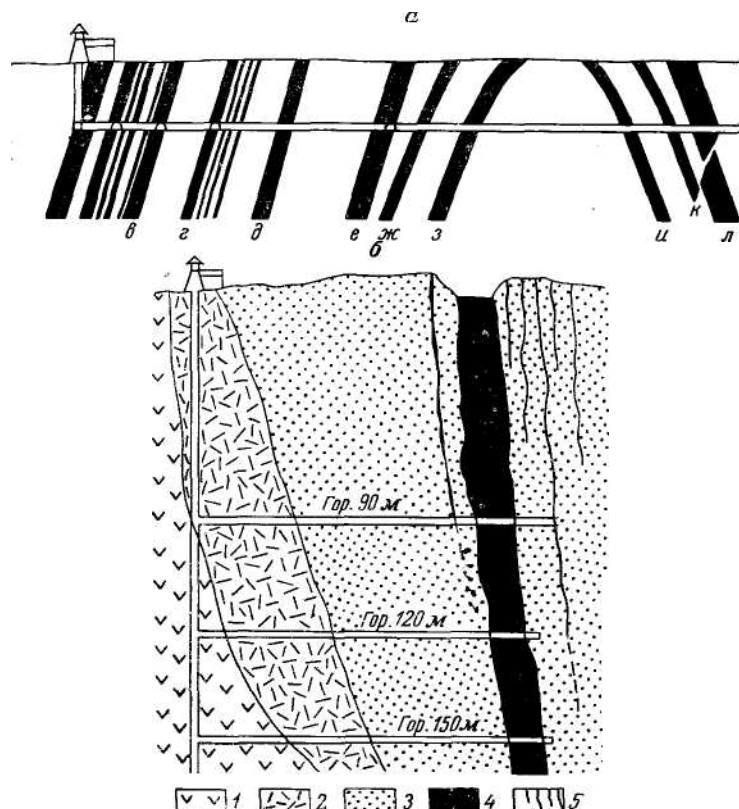


Рис. 6. Система разведки шахтой с квершлагами и штреками
a — разрез угольной шахты; *б* — разрез месторождения. Мойхук (Южная Африка); 1 — нориты; 2 — пироксениты; 3 — оливиновые дуниты; 4 — гортонолитово-дунитовая «трубка»; 5 — дайки гортонолитового дунита

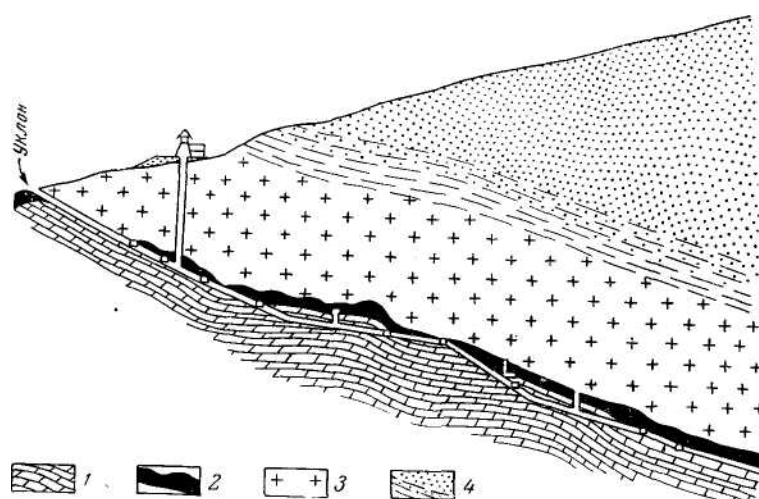


Рис. 7. Система вертикальных шахт, пересекающих пологие рудные зоны, с штреками, восстающими и уклонами (месторождение Ледвиль, Колорадо) 1 — голубой известняк; 2 — руда; 3 — белый порфир; 4 — песчано-сланцевая толща

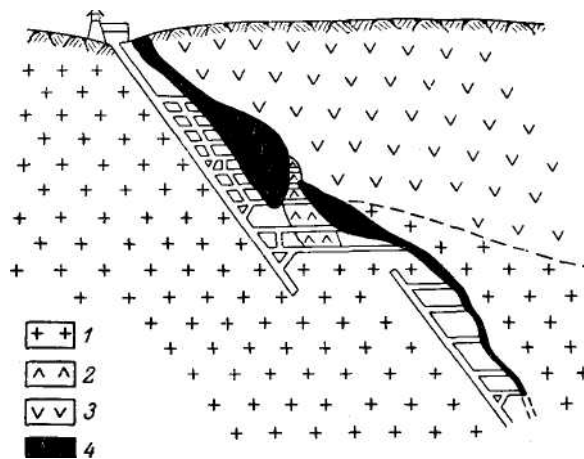


Рис. 8. Система разведки наклонной шахтой с квершлагами (рудник Крейтон, Сёдбери)
 1 — граниты; 2 — зеленокаменные породы; 3 — нориты;
 4 — сульфидные руды

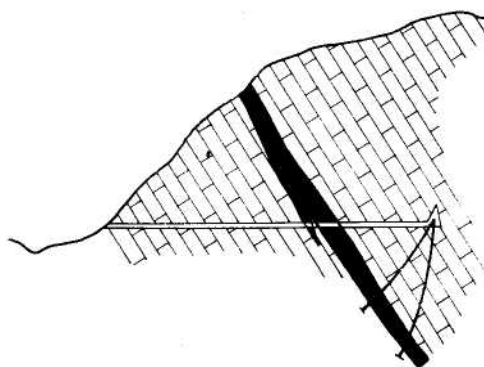


Рис. 9. Сочетание штольни и подземных буровых скважин

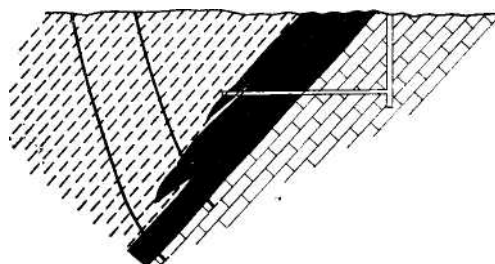


Рис. 10. Сочетание разведочной шахты с буровыми скважинами

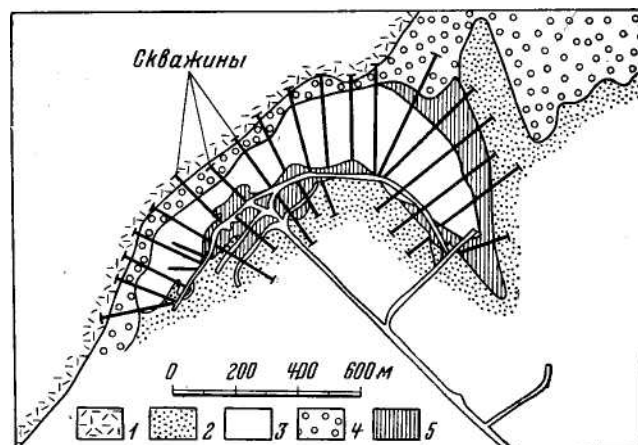
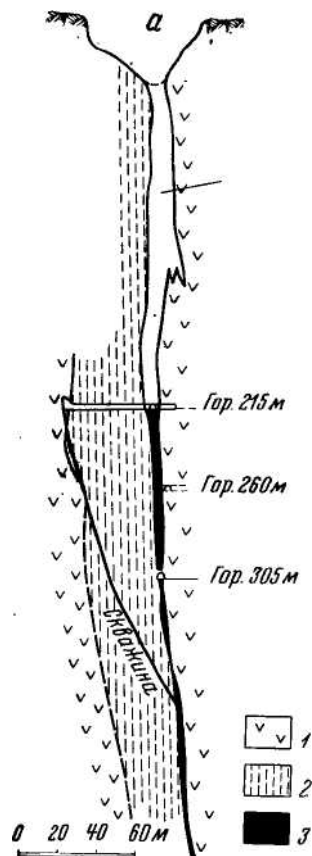


**Рис. 11. Системы разведочных шахт с подземными
буровыми скважинами**

а — крутонаклонные скважины из подземных горных выработок: 1 — джеспилиты; 2 — сланцы;
3 — рудное тело

б — горизонтальные скважины из подземных горных выработок: 1 — диориты, 2 — порфириты;
3 — сульфидные руды; 4 — зеленокаменные породы; 5 — сланцы

РАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Как отмечалось выше, разведка заключается в получении данных о геологическом строении тела полезного ископаемого в отдельных его пересечениях и систематизации этих данных для характеристики геологического строения, формы и размеров залежи в целом, а также оценки качества минерального сырья. Наиболее наглядным средством систематизации получаемой информации является графический способ. Среди графических приемов больше распространен способ разрезов и меньше — способ изолиний.

В первом случае данные, полученные при разведке, используются для составления точных геологических разрезов, где тело полезного ископаемого изображается в окружении вмещающих его пород, взаимоотношения между которыми отражают структуру месторождения. Разрезы могут быть вертикальные, обычно построенные вкрест простирания тела полезного ископаемого или в других направлениях, горизонтальные или наклонные, расчленяющие тело по падению. Последние представляют обычно колонну разрезов, начинающихся картой поверхности месторождения, ниже которой располагаются подземные геологические планы отдельных горизонтов горных работ. Такие серии геологических разрезов дают наиболее полноценное представление о геологическом строении месторождения.

Во втором случае систематизация данных о геологическом строении месторождения производится на проекциях на плоскость, параллельную или близкую к параллельной по отношению к телу полезного ископаемого, а строение тела и распределение полезного компонента в нем изображаются на этих плоскостях системой изолиний. Наиболее распространенными являются системы изолиний мощностей тел полезного ископаемого, содержаний в нем полезного компонента, формы поверхности висячего и лежащего боков тела, глубины его залегания и др.

Составление разрезов, вскрывающих геологическую структуру месторождения, является основным способом систематизации геологоразведочных материалов. Построение систем изолиний не может полноценно отразить геологические особенности месторождения, особенно состав пород, вмещающих тело полезного ископаемого, геологическую структуру участка и др. Поэтому системы изолиний следует рассматривать как вспомогательную графику, дополняющую геологические разрезы.

Ориентировка разведочных разрезов должна быть такой, чтобы по ним можно было отчетливо видеть форму, элементы залегания и внутреннее строение тела полезного ископаемого, а также соотношение его с вмещающими породами. Наиболее отчетливое представление об особенностях тела полезного ископаемого может быть получено тогда, когда в разрезе возможно полно будут отражены изменчивость формы тела, условий залегания и изменчивость качества полезного ископаемого. Поэтому

разведочные выработки (и разрезы) должны ориентироваться по линиям максимальной изменчивости свойств тела полезного ископаемого.

Обычно направление максимальной изменчивости тела полезного ископаемого совпадает с линией его мощности, а разведочные сечения (разрезы) ориентируются вкрест простирания тела полезного ископаемого или рудной зоны, что относится к телам пластового, жильного и пластообразного типов.

Тела трубообразной формы, вытянутые штоки разведываются системой разрезов, ориентированных в зависимости от положения тела в пространстве. Горизонтальные или пологие трубы, имеющие определенную протяженность, должны рассекаются вертикальными разведочными разрезами вкрест простирания (вернее, протяженности), как и тела пластообразной формы, так как максимальная изменчивость свойств трубообразного тела полезного ископаемого чаще всего отмечается в поперечном направлении. Крутопадающие трубы рассекаются горизонтальными разрезами.

Следовательно, в большинстве случаев плоскости разведочных разрезов ориентируются поперек наиболее длинного размера тела полезного ископаемого. Исключение составляют некоторые сложные по строению тела, в которых линия наибольшей изменчивости свойств резко отклоняется от линии, лежащей вкрест простирания. В этом случае разведочные выработки могут ориентироваться по направлению простирания (например, вмещающих даек, но вкрест простирания рудных тел). Примером такого сложного строения являются лестничные жилы Березовского золоторудного месторождения.

Тела штокверкового типа, гнезда часто не обладают отчетливо выраженным простиранием и имеют более или менее одинаковые размеры во всех трех направлениях. В таких случаях ориентировка разведочных разрезов (и выработок) должна производиться с учетом видимой полосчатости или как-то иначе выраженной изменчивости качества полезного ископаемого. Если же изометричные тела не обладают закономерной изменчивостью качества ни в каком направлении, являясь телами «изотропными», то для них ориентировка разведочных разрезов безразлична и может определяться техническими соображениями. Обычно в таких случаях строится система взаимно перпендикулярных разрезов.

Разведочные разрезы являются наиболее точными по сравнению с другими геологическими разрезами. Точность их зависит от двух обстоятельств: 1) от сложности геологического строения месторождения и 2) от применяемых средств разведки (например, от качества пробуренных скважин).

Абсолютная оценка точности разрезов пока не разработана. Д. А. Зенков рекомендует оценивать относительную точность разведочных разрезов. Им предложены две шкалы: первая — в зависимости от геологических особенностей месторождения (табл. 1), вторая — в зависимости от техники

разведки. Соответственно и точность определяется двояко: точность геологическая и точность разведочная.

Если разведочная выработка проводится по простиранию или падению тела полезного ископаемого, которое укладывается в размеры выработки, то контуры этого тела определяются наиболее точно и разрез, построенный по данным проходки такой выработки, относится к первой категории. Менее точны контуры тела полезного ископаемого, показываемые на разрезах, которые строятся с помощью интерполяции.

При разведке месторождений сложного строения фактический материал часто допускает в построении разведочных разрезов несколько вариантов, а иногда данные в таких разрезах вовсе не увязываются. Эти разрезы V, VI и VII категорий точности. IV и VI категории точности получают в результате так называемой двойной интерполяции, когда какой-либо разрез строится не по данным разведочных выработок, а на основании уже составленных с помощью интерполяции разрезов (например, когда по горизонтальным разрезам составляются вертикальные разрезы или наоборот). Наименее точны те разрезы, которые строятся с применением экстраполяции — VIII и IX категорий. Большое влияние на точность разрезов оказывают применяемые для разведки технические средства. Разрезы, построенные по горным выработкам, точнее разрезов, построенных на основании буровых скважин, а точность последних в свою очередь значительно зависит от качества буровых работ (выход керна) и сопутствующих им измерений (каротаж, замеры искривлений).

В связи с тем, что геологические разрезы являются основой разведки, горные выработки и скважины нужно располагать так, чтобы они давали возможность построить эти разрезы. Это осуществляется закономерным расположением разведочных выработок и скважин. Существует два основных способа закономерного распределения (размещения) разведочных выработок, по сетке и по линиям.

При разведке сеткой выработки и скважины располагаются по взаимно пересекающимся линиям. В зависимости от характера взаимных пересечений различают сетки квадратные, прямоугольные, ромбические и треугольные.

В квадратной сетке выработки и скважины располагаются в углах квадратов. Такой способ расположения разведочных выработок чаще всего применяют для разведки изометричных в плане тел полезных ископаемых (рис. 1, а)

В прямоугольной сетке разведочные выработки располагаются в углах прямоугольников. Этот способ обычно применяется при разведке вытянутых в одном направлении тел полезных ископаемых, причем расстояние между пунктами пересечения тела по направлению его вытянутости больше, чем по поперечному направлению (см. рис. 1, б).

В ромбической сетке, которая применяется иногда для разведки изометричных тел полезных ископаемых, разведочные выработки размещаются в вершинах ромба (см. рис. 1, в).

Кроме того, выделяют треугольные сетки, в которых выработки располагаются в вершинах равносторонних треугольников. Д. А. Зенков, исследовавший основные свойства разведочных сеток, считает, что наиболее совершенными являются квадратная и треугольная сетки, позволяющие при одинаковой плотности выработок построить наибольшее количество разрезов с максимально сближенными на них выработками или скважинами.

Разведочные сетки чаще применяются для разведки горизонтально и полого залегающих залежей — пластов, линз, пластообразных тел. При наклонном залегании размеры разведочной сети — расстояния между выработками — следует измерять не на поверхности, а в плоскости тела полезного ископаемого.

При разведке линиями разведочные выработки располагаются по прямым направлениям, обычно ориентированным поперек тела полезного ископаемого. Такое расположение выработок принимается чаще для плоских крутопадающих тел полезных ископаемых — линз, жил, пластов. При этом разведочные выработки располагаются или по линиям, обеспечивающим создание серии вертикальных поперечных сечений (разрезов) (рис. 2, а), или по линиям, дающим возможность построить ряд горизонтальных разрезов (рис. 2б).

Разведка линиями применяется также для неглубоких, горизонтально залегающих тел, вытянутых в одном направлении, например россыпей, рудных тел лентовидного типа и др.

Следует отметить, что систематическое размещение выработок по сетке или по линиям, создающее стройность разведочной системы и дающее возможность установить строение месторождения и оценить его промышленное значение на серии параллельных разрезов, в полной мере не всегда возможно. В процессе разведки нередко приходится отступать от жесткой системы сетки или линий и задавать выработки вне их. Это приходится делать для уточнения положения некоторых геологических границ, важных для детальной разведки. К таким границам относятся линии выклинивания тел полезного ископаемого, границы между различными сортами минерального сырья, линии тектонических нарушений и пр. На таких участках тел полезных ископаемых разведочная сеть должна сгущаться по сравнению с общепринятым расстоянием между выработками. Но не всегда при простом сгущении разведочной сети можно проследить указанные границы, и тогда приходится прибегать к проходке дополнительных пересечений, создаваемых специально для их прослеживания и выпадающих из сетки или линии. Таких выработок должно быть как можно меньше (но не меньше, чем это требуется). Выдерживать жесткую разведочную сетку ради самой сетки нецелесообразно.

При разведке сеткой или линиями в каждом пересечении тела полезного ископаемого помимо выработок, пересекающих тело, необходимо проходить по одной выработке за пределами тела полезного ископаемого.

Такие выработки нужны для установления контуров залежи и называются оконтуривающими.

Правильное расположение разведочных выработок имеет особенно большое значение при разведке месторождений, состоящих из нескольких разобщенных тел. При их разведке буровыми скважинами должен быть решен вопрос о возможности и целесообразности разбуривания самостоятельными комплектами скважин каждого тела, группы их или всех тел месторождения сразу.

При разведке горными выработками необходимо установить возможность и целесообразность вскрытия самостоятельно каждого тела или всех тел и самостоятельного их прослеживания из общей выработки, или прослеживания основного тела с систематическим пересечением побочных тел вспомогательными выработками (квершлагами) из основного штрека (рис. 3).

Общих рекомендаций по выбору подобных вариантов разведки дать нельзя. Они должны выбираться с учетом геологических особенностей месторождения и наиболее экономичного производства разведочных работ.

ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Горные выработки и скважины, которыми разведуются месторождения, можно проходить последовательно, параллельно и последовательно-параллельно.

Последовательная проходка выработок или скважин предусматривает закладку каждой новой выработки или скважины после завершения предыдущей. Каждая новая выработка закладывается с учетом геологических данных, полученных в предыдущих выработках, и обоснованно направляется с учетом этих данных. Такой порядок проходки выработок обеспечивает наиболее правильное использование объемов геологоразведочных работ, но значительно увеличивает период разведки месторождений и в практике не применяется. Иногда его вынужденно применяют в начальную стадию изучения месторождения, когда неизвестна структура месторождения и выбор места заложения новой выработки затруднен.

Параллельная проходка выработок или скважин может быть осуществлена одновременным продвижением всех выработок, при помощи которых намечена разведка месторождения. Такой порядок проходки обеспечивает минимальные сроки разведки. Но при этом требуется огромная концентрация ресурсов на очень короткий срок работы, а существенная часть выработок и скважин может быть пройдена нерационально, на безрудных участках, в то же время ряд геологических вопросов, важных для оценки месторождения, может оказаться неразрешенным. Поэтому описанный порядок проходки разведочных выработок не применяется.

Параллельно-последовательная проходка разведочных выработок сводится к параллельному развитию геологоразведочных работ по ряду пересечений (линий, этажей) при последовательной проходке выработок на

каждом из них. Например, месторождение разведывается десятью линиями, в каждой из которых необходимо пробурить десять скважин. При этом способе проходят по одной скважине на каждой линии, для чего потребуется десять буровых станков. По мере завершения бурения этих скважин проходятся следующие. Таким образом, при параллельной работе десяти станков последовательное бурение скважин на каждой линии позволяет осуществить разведку месторождения сотней скважин.

Описанный порядок обеспечивает достаточно широкий фронт работ, разумное их направление и выполнение в сжатые сроки и поэтому часто применяется в практике.

Последовательность проходки выработок и скважин тщательно продумывается с учетом необходимости планомерных накоплений геологических данных о месторождении, обеспечения геологоразведочных работ, кадрами, техникой, ассигнованиями; скоростей продвижения выработок и скважин; времени, отводимого для разведки, и обычно оформляется в виде специального графика (рис. 4).

ВЫБОР РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ РАЗВЕДОЧНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Расстояния между выработками и скважинами при разведочных работах определяются на основе имеющегося опыта. Оно бывает больше при предварительной разведке и при разведке простых по морфологии и распределению полезных компонентов месторождений и меньше при детальной разведке сложных по строению и распределению полезных компонентов месторождений. Для предварительной разведки расположение разведочных выработок определяется геолого-структурными особенностями месторождений и строгих расстояний между выработками не устанавливается. Количество разведочных выработок обычно ограничивается предварительными данными о мощности тела, его протяженности, условиях залегания и содержании полезного компонента.

Детальная разведка осуществляется путем сгущения расстояний между разведочными выработками предварительной разведки. В этом случае приходится определять, до каких пределов необходимо сгущение разведочной сети, чтобы, с одной стороны, получить достаточный материал для правильной оценки месторождения, а с другой, — выполнить для этого минимальный объем геологоразведочных работ. Объективных методов полноценного решения этого вопроса к настоящему времени не разработано. В геологоразведочной литературе описаны некоторые предложения по определению рационального расстояния между разведочными выработками, среди которых следует выделить три наиболее распространенные; метод сравнения с данными эксплуатации, метод последовательного разрежения разведочной сети и аналитический метод.

Сравнение с данными эксплуатации. Сравнение контуров тел полезных ископаемых, их отдельных частей, геологического строения месторождения, подсчитанных по данным разведочных работ запасов с

этими же данными, полученными в процессе эксплуатации, при которой тела полезного ископаемого детально препарируются, безусловно способно определить степень точности геологоразведочных материалов и вскрыть ошибки, допущенные при разведке. Сравнение обычно производится по контурам рудных тел и по цифрам запасов.

К сожалению, материал для сопоставления геологоразведочных данных с эксплуатационными данными недостаточен. Известны лишь отдельные случаи сравнения этих данных по разного рода месторождениям. Так, например, В. И. Смирнов приводит сведения П. С. Бернштейна об отклонении (от 19,8 до 224,4%) запасов цинка, свинца и меди в некоторых месторождениях нашей страны, выявленных в процессе их эксплуатации, по сравнению с вычисленными по буровым скважинам (рис. 5).

Использование сравнительных данных разведки и эксплуатации для выбора расстояний между разведочными выработками практически затруднительно. Затруднения возникают потому, что эти данные в большинстве случаев могут быть получены после разведки значительной части месторождения в результате достаточно длительной эксплуатации месторождения. Кроме того, получение строго сопоставимых сведений, отражающих результаты разведочных и эксплуатационных работ, требует сложной организации учета добываемой руды и металла, строго в контурах подсчета запасов, обычно отсутствующего в практике наших работ. Поэтому сравнительные данные эксплуатации редко используются для уточнения расстояний между разведочными выработками.

Несмотря на указанные трудности и недостатки, надо стремиться к систематическому накоплению сравнительных данных по разведке и эксплуатации месторождений, так как этот путь разработки рациональных методов разведки месторождений при получении большого и разностороннего материала может оказаться одним из самых надежных.

Полный анализ и сравнение данных разведки с результатами эксплуатации месторождения требует выделения: а) данных детальной разведки; б) данных эксплуатационного опробования; в) данных фабричного (или заводского) учета. Для выявления погрешностей и ошибок детальной разведки необходимо сравнивать данные детальной разведки с эксплуатационным опробованием. Для выявления потерь и разубоживания необходимо сравнивать данные эксплуатационного опробования и фабричного учета. Непосредственное сравнение данных детальной разведки и фабричного учета не дает необходимых материалов для выявления погрешностей разведки, которые вуалируются потерями и разубоживанием. Кроме того, при сравнении данных разведки и эксплуатационного опробования следует учитывать категории разведанности запасов минерального сырья и не допускать объединения всех категорий (А, В, С) в одну группу.

Последующее разрежение разведочной сети. По этому способу на детально разведанном месторождении при высокой плотности разведочной сети подсчитываются запасы руды и металла по данным всех выработок.

Затем производят подсчет запасов по половине выработок (через одну), принимая во внимание только четные или нечетные, далее подсчитывают запасы по трети, по четверти и т. д. выработок и сравнивают полученные цифры запасов с запасами, подсчитанными по полному комплексу выработок и скважин. Предполагается, что достаточная плотность разведочной сети определяется таким расстоянием между выработками, меньше которого запасы начинают существенно отличаться от запасов, подсчитанных по всем пересечениям. Данный прием определения рационального расстояния между разведочными пересечениями страдает рядом недостатков.

Во-первых, для определения расстояний между разведочными выработками месторождение должно быть детально разведано и выводы, полученные из анализа плотности сети, как и в предыдущем случае, не могут быть использованы для данного месторождения.

Во-вторых, этот способ определяет не рациональные расстояния между разведочными выработками, а минимальное количество этих пересечений, меньше которого подсчет запасов будет сравнительно неточен. Кроме того, рядом исследователей (Казаковский Д. А., Сергеев О. П.) показано, что простое смещение разведочной сети на 5—10 м может дать значительные отклонения в результатах подсчета запасов, независимо от расстояния между разведочными выработками.

Аналитический метод определения расстояния между выработками и скважинами использует приемы и формулы вариационной статистики и теории вероятности. В его основу положен анализ степени равномерности формы тела полезного ископаемого и распределения полезного компонента в нем. В первом случае рассматривается изменение мощности или площади сечения тела полезного ископаемого в его плоскости, во втором — изменение содержания полезного компонента также в плоскости тела. Обычно исследуется тот показатель, который является наиболее изменчивым и к которому, как правило, относится распределение полезного компонента. Общим показателем изменчивости того или иного параметра является коэффициент вариации.

При помощи коэффициента вариации определяется минимальное количество пересечений n , необходимое для надежного вычисления средних величин мощности тела или содержания полезного компонента. Зная необходимое количество пересечений и ориентировочно площадь месторождения S , простыми расчетами можно определить величину площади, которую должно освещать одно пересечение, а затем и расстояния L между этими пересечениями.

Для комплексных, полиметалльных месторождений коэффициент вариации содержания различных металлов может быть различен. В таких случаях для характеристики месторождения и практических выводов в расчет принимается коэффициент вариации того из промышленно важных металлов, который является наибольшим.

ПРИЛОЖЕНИЕ

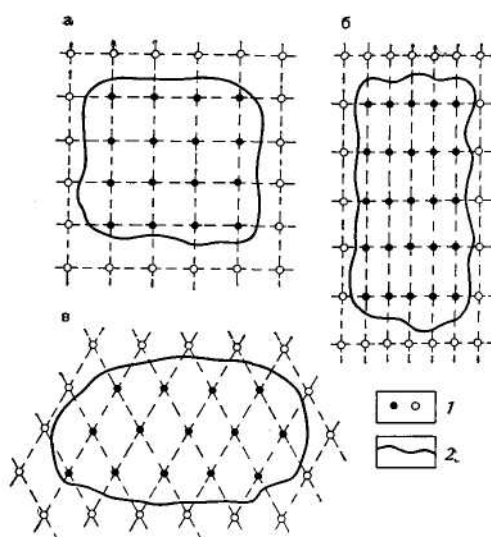


Рис. 1. Расположение разведочных выработок по сетке:

а — квадратной; б — прямоугольной; в — ромбической. 1 — скважины (соответственно) рудные и нерудные; 2 — контуры тел полезных ископаемых

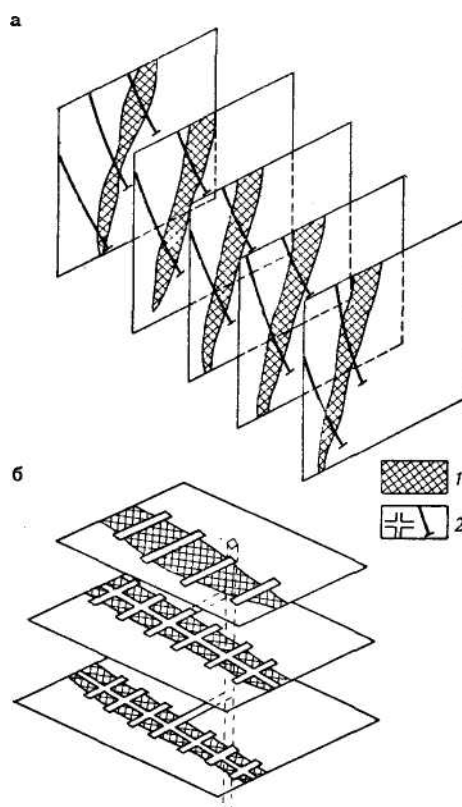


Рис. 2. Схема разведки части рудной линзы;

а — вертикальными сечениями; б — горизонтальными сечениями. 1 — тело полезного ископаемого; 2 — горные выработки и скважины

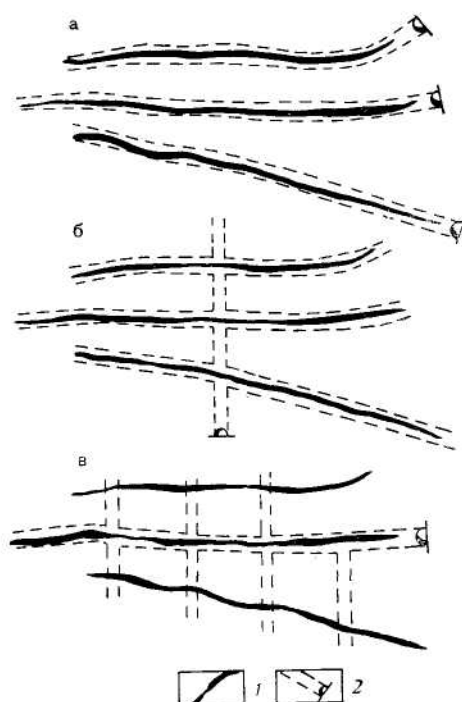


Рис. 3. Варианты вскрытия и прослеживания тел полезных ископаемых горными выработками

а — вскрытие и прослеживание каждого тела самостоятельно; б — вскрытие всех тел одним квершлагом и прослеживание штреками каждого тела самостоятельно; в — вскрытие и прослеживание главного тела штреком, а параллельных тел — квершлагами. 1 — тело полезного ископаемого; 2 — горные выработки

Горные выработки и скважины	М е с я ц ы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Штольня 1	■	■										
" " 2	■	■	■	■	■	■	■	■				
Штрек северный штольни 1			■	■	■	■	■	■				
" " южный штольни 1					■	■	■	■	■	■		
Восстающие штольни 1			■	■	■	■	■	■				
" " " 2							■	■	■	■	■	
Скважина 1			■	■	■	■	■	■				
" " 2			■	■	■	■	■	■				
" " 3					■	■	■	■				
" " 4						■	■	■	■	■	■	
" " 5								■	■	■	■	■

Рис. 4. График проходки разведочных выработок 61

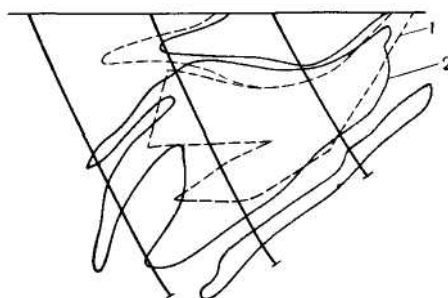


Рис. 5. Сравнение контуров рудного тела по данным разведки (1) с фактическими контурами при отработке (2)

Табл. 1.

Шкала относительной геологической точности разрезов.

Категория точности	Характеристика разрезов по способу построения
I	Непрерывного прослеживания контуров тела полезного ископаемого
II	Одновариантной геологической интерполяции
III	Прямолинейной одновариантной интерполяции
IV	Одновариантной двойной интерполяции (производные разрезы)
V	Многовариантной интерполяции
VI	Двойной интерполяции (однозначно неувязывающиеся производные разрезы)
VII	Нанесены только данные по разведочным выработкам вследствие невозможности взаимной увязки разрезов
VIII	Ограниченной экстраполяции
IX	Неограниченной экстраполяции

ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ, ОКОНТУРИВАНИЕ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Технические средства разведки и изучения месторождений, которые используют геологи для получения разведочной информации, — горные выработки и буровые скважины.

Буровые скважины проходят быстрее горных выработок в 2—3 раза и они дешевле в 3—4 раза и более. Однако общее сокращение времени и расходов на разведку бурением по сравнению с разведкой горными выработками значительно меньше, так как объем буровых работ для разведки того или иного месторождения, как правило, должен быть больше по сравнению с объемом горных работ для разведки того же месторождения.

Разведка бурением требует меньше рабочей силы, энергии и оборудования. Однако по геологическим результатам бурение далеко уступает горным выработкам. Каждая буровая скважина представляет лишь прокол рудного тела (который можно приравнять к одной бороздовой пробе), недоступный для осмотра. Горные выработки дают значительно большее по площади пересечение, доступное для осмотра, геологической документации и опробования. Горные выработки обладают большей гибкостью, позволяющей при необходимости изменять их ориентировку в нужном для разведки направлении. Часть горных выработок при правильной проходке может быть использована для последующей эксплуатации, что частично окупает расходы на разведочные работы. Поэтому горные выработки применяются при разведке месторождений полезных ископаемых не менее часто, чем буровые работы, особенно при разведке сложных по форме, строению и распределению полезного компонента месторождений, когда требуется тщательное и непрерывное прослеживание тела полезного ископаемого.

Условия, влияющие на выбор разведки горными выработками или буровыми скважинами, принято подразделять на три группы: общеэкономические, горнотехнические и геологические.

Общеэкономические условия объединяют: пути сообщения, энергетическую базу, наличие воды, крепежного леса и климатические условия.

Пути сообщения, если они хорошие, способствуют развитию горных работ, так как в этом случае не затрудняется переброска на разведку участок оборудования и материалов, значительно более громоздких при разведке горными выработками, чем при разведке бурением (имеется в виду современная механизированная проходка горных выработок — компрессор, погрузочные машины, рельсовые пути и т. д.).

Энергетическая база одинаково необходима как для горных, так и для буровых разведочных работ. Однако горные работы значительно более энергоемкие, чем буровые. Поэтому наличие местной энергетической базы также может способствовать развитию горных работ.

Вода необходима как для горных, так и для буровых работ. Но потребность в воде для наиболее широко распространенного колонкового бурения несопоставимо выше потребности ее для обслуживания горно-проходческих работ. Безводность района работ лимитирует применение колонкового бурения.

Крепежный лес необходим при проходке горно-разведочных выработок в неустойчивых породах. Отсутствие его на месте работ препятствует развитию горных выработок.

Климат в равной степени влияет на производство как горных, так и буровых работ. Однако при плохих климатических условиях, особенно при продолжительных зимах, когда затрудняется работа на поверхности, стремятся переходить к горным выработкам (уходят под землю от сурового климата).

Горнотехнические условия включают: рельеф местности, глубину залегания тел полезных ископаемых, условия их залегания, характер пород и водоносность участка.

Рельеф местности в некоторых случаях имеет важное значение для выбора средств разведки. На местности со сглаженным рельефом, где горная разведка требует проходки шахт, всегда возникает стремление отказаться от этого сложного и дорогого способа разведки и перейти, если это возможно по геологическим соображениям, к разведке бурением. Наоборот, в условиях горной местности с расчлененным рельефом, где возможна разведка при помощи штолен, простых по условиям проходки выработок, не требующих подъема и водоотлива, в ряде случаев целесообразен переход к разведке горными выработками. Разведка штольнями широко используется при резко расчлененном рельефе, затрудняющем организацию буровых площадок, переброску буровых станков и их систематическое снабжение водой. Применение самоходных станков в этих случаях особенно затруднительно.

Очень важно для выбора средств разведки соотношение элементов залегания тела полезного ископаемого с рельефом. Наиболее благоприятен случай, когда тело полезного ископаемого простирается перпендикулярно склону и выходит на его поверхность. Тогда разведка осуществляется серией штолен, закладываемых прямо на выходе тела на ряде горизонтов (рис. 1, *а*). Весь объем горных работ приходится полностью на проходку по телу полезного ископаемого, что создает высокую эффективность разведочных работ.

Достаточно благоприятен также случай, при котором тело полезного ископаемого простирается вдоль склона и падает параллельно ему («под гору»). Разведка таких крутопадающих тел на глубину ведется буровыми скважинами, что сокращает до минимума объем буровых работ по вмещающим породам (см. рис. 1, *б*).

Наименее благоприятна разведка тел полезных ископаемых, простирающихся параллельно склону и падающих в противоположную сторону («в гору»). В этом случае при проходке штолен по мере перехода к разведке

нижних горизонтов приходится проходить все более нерациональные объемы подходов выработок. Разведка же бурением с увеличением глубины заложения скважин настолько резко увеличивает их длину, что делает проходку нерациональной (см. рис. 1, в).

При увеличении глубины залегания тел полезных ископаемых увеличивается и объем работ, необходимый для проходки по вмещающим породам. Так как эти работы обычно дешевле и технически проще выполнить бурением, то при увеличении глубины тел полезных ископаемых обычно переходят к разведке их буровыми скважинами.

Условия залегания тел полезных ископаемых имеют существенное значение для выбора средств разведки. Полого залегающие тела могут быть полностью разведаны шурфами или скважинами. Крутопадающие залежи (пласты, линзы, жилы) могут быть полностью разведаны только системой горных выработок, проходимых в зависимости от рельефа, из шахт или штолен. Из всех видов бурения для разведки плоских крутопадающих тел пригодно только колонковое.

Характер пород, слагающих месторождение и тело полезного ископаемого, иногда оказывает некоторое влияние на выбор средств разведки. Породы и руды рыхлые, легкоразмываемые, сыпучие или очень сильно трещиноватые снижают выход керна при колонковом бурении, иногда исключают возможность его получения и препятствуют разведке при помощи этого вида разведочного бурения. Неустойчивые в горных выработках породы, требующие сплошного крепления, не способствуют развитию горных работ при разведке, особенно в безлесных районах. Кроме того, характер пород и тела полезного ископаемого может повлиять на расположение прослеживающих горных выработок. Так, например, если тело сложено очень крепким материалом, а боковые породы проходятся значительно легче, то в некоторых случаях следует штреки, заложенные по простиранию тела, проходить по контакту, вскрывая мощность тела полезного ископаемого ортами (рис. 2). Аналогичный прием допустим при очень неустойчивом рудном теле — проходка полевых штреков оказывается в этих условиях вынужденной.

Водоносность разведываемого участка практически безразлична для всех видов разведочного бурения. Она также не представляет затруднений при разведке штольнями. Но обильная водоносность сильно затрудняет, а иногда и исключает проходку вертикальных разведочных выработок, таких, как шурфы, шахты. В этих случаях иногда переходят к буровой разведке.

Геологические условия, определяющие выбор технических средств разведки, включают: устойчивость формы тел полезных ископаемых, устойчивость распределения полезного компонента в них и размеры тел. Устойчивость формы тел полезных ископаемых определяется выдержанностью их мощности или поперечного сечения на большом протяжении. Могут быть выделены устойчивые по форме тела, такие как

пласты морских осадочных месторождений, мощность которых очень слабо и плавно изменяется на расстояниях в сотни метров и даже в километры.

Тела могут быть неустойчивые по форме, например некоторые жилы гидротермального происхождения, иногда состоящие из тонкой слабо минерализованной рудоносной трещины со спорадическими раздувами (рудными столбами) на коротких интервалах ее.

Так как разведка заключается в пересечении тел полезных ископаемых в отдельных пунктах, на основании которых делается заключение о их размерах, то количество таких пересечений, необходимое для достижения одной и той же надежности этого заключения при разведке тел с неустойчивой мощностью, должно быть значительно больше, чем для тел с устойчивой мощностью. В последнем случае отдельные пересечения, осуществляемые буровыми скважинами, позволят достаточно точно определить как мощность в пунктах, пересеченных буровыми скважинами, так и среднюю мощность тела. Для получения данных о средней мощности тела с неустойчивой мощностью, чтобы избежать возможных случайных замеров ее, получаемых в этом случае по единичным скважинам, пришлось бы сильно увеличить количество пересечений тела, значительно сблизить расстояния между буровыми скважинами, доводя их в крайних случаях до пределов столь частого перебуривания, что последнее выгоднее заменить сплошным прослеживанием тела подземными горными выработками. Для тел с сильно изменчивой морфологией только горные выработки, позволяющие метр за метром проследить за изменением формы и размеров тела, в состоянии обеспечить получение необходимых данных по этим параметрам.

Существенное значение для разведки имеет не только степень устойчивости морфологии тел полезных ископаемых, но и характер их ограничения — взаимоотношение с вмещающими породами. Проще для разведки тела, отчетливо отделяющиеся от вмещающих пород и имеющие четкие геологические контакты — пласты, жилы и др. Сложнее разведывать рудные тела, не имеющие четких геологических контактов, в которых оруденение постепенно переходит во вмещающие породы — зоны вкрапленников, прожилковые руды и др.

Еще более важное значение для выбора средств разведки имеет изменчивость содержаний полезного компонента. В тех случаях, когда тела полезных ископаемых не имеют четких геологических границ и их контуры определяются по данным опробования, форма тела зависит от изменчивости содержания полезного компонента в пределах промышленных его концентраций.

Интенсивность изменчивости содержаний полезного компонента оценивается коэффициентом вариации — чем выше коэффициент вариации, тем сложнее разведка и тем большее количество пересечений тела необходимо для надежной оценки качества минерального сырья. Однако характер

изменчивости содержаний коэффициентом вариации не учитывается *ж* не отражается.

Изменчивость содержаний может быть плавной и скачкообразной, закономерной и не закономерной. Содержания полезного компонента могут быть выше требований промышленности (кондиций) на всем протяжении тела или ниже их на отдельных участках, что создает прерывистость промышленных концентраций полезного компонента.

Плавность и закономерность изменчивости содержаний полезного компонента, а также непрерывность промышленных концентраций упрощают разведку, способствуют применению буровых работ, дают возможность сократить до минимума количество пересечений тела для надежной оценки качества минерального сырья. Скачкообразность и отсутствие закономерности в изменчивости содержаний полезного компонента, а также наличие прерывистости промышленных концентраций требуют увеличения количества пересечений тела полезного ископаемого для надежной оценки средних содержаний и применения при разведке горных выработок.

Размеры тел полезных ископаемых также оказывают влияние на выбор средств разведки. На крупных телах, где может быть организован широкий фронт буровых работ, возможно получение такого обильного (большого) материала по большому количеству пересечений, который по закону больших чисел исключает крупные ошибки определения как размеров тела, так и качества руды. Для мелких тел, которые могут быть пересечены немногими скважинами, нет гарантии от ошибочного представления об их строении, размерах и качестве руды. Кроме того, попасть на глубине в мелкие тела буровыми скважинами довольно трудно, а иногда и невозможно без большого объема «пустых» скважин, бурение которых в этом случае нередко целесообразнее заменить проходкой горно-разведочных выработок, способных вскрыть тела полезных ископаемых. Особенно большую опасность представляет разбуривание тел очень малой мощности, например 5—10 см. В этом случае канатно-ударное бурение совершенно неприемлемо. Колонковое бурение возможно, но при нем можно пропустить тело полезного ископаемого, особенно при низком выходе керна, в истершуюся часть которого может войти рудный интервал. Также малоэффективно бурение для разведки мелких тел прихотливой формы типа извивающихся труб, гнезд неправильных очертаний и пр.

Исходя из описанных геологических условий, В. И. Смирновым сформулировано следующее правило: чем сложнее и изменчивее форма тела полезного ископаемого, чем меньше его размеры, ниже коэффициент рудоносности и выше степень неравномерности распределения полезного компонента в руде, тем большее значение приобретают горные выработки и меньшее — буровые работы при разведке месторождений.

На выбор горных или буровых работ при разведке месторождений кроме перечисленных в ряде случаев могут оказывать влияние и другие факторы:

а) требования к детальности и надежности, а также ко времени получения сведений. При необходимости получения срочных данных предпочтительнее бурение (но его данные ориентировочные), для получения надежных сведений, не ограниченных временем, лучше использовать горные выработки;

б) требования к изучению технологических свойств полезного ископаемого. Буровые скважины обычно обеспечивают только лабораторные испытания, а если нужны крупные технологические пробы, ползаводские или заводские, необходима проходка горных выработок для отбора этих крупных проб.

ОКОНТУРИВАНИЕ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Способ оконтуривания тела полезного ископаемого зависит от его морфологического вида и положения в пространстве. Плоские тела — жилы, линзы, пласты — при пологом залегании оконтуриваются в плане, при крутом — в вертикальной проекции. Наклонные тела удобно оконтуривать и в их собственной плоскости, особенно в тех случаях, когда они имеют средний угол падения ($40\text{—}50^\circ$). Трубообразные тела также оконтуриваются обычно в плане (пологие) или в вертикальной проекции (крутые). Изометричные тела полезных ископаемых могут оконтуриваться в любой плоскости, но обычно в силу ряда технических причин их удобнее оконтуривать в плане.

Все сказанное относительно оконтуривания тел полезных ископаемых справедливо для любых продуктивных зон и площадей.

В порядке убывающей точности различаются три способа оконтуривания: 1) непрерывное прослеживание контактов (на поверхности или в горных выработках, пройденных по простиранию тела), 2) интерполяция контактов (когда проводятся условные линии контуров между смежными разведочными выработками) и 3) экстраполяция контактов (когда линии контуров проводятся весьма приближенно за пределами разведочных выработок). Различная точность оконтуривания обуславливает и различную геологическую точность разведочных разрезов, и различную точность нанесения границ тел полезных ископаемых или месторождения в целом на графические документы.

Непрерывное прослеживание контактов удастся осуществить при маломощных телах полезного ископаемого путем проведения горных выработок по простиранию или по падению пласта, жилы, линзы. Реже мощные и ценные залежи полезного ископаемого оконтуриваются парой горных выработок (штреков), закладываемых вдоль обоих контактов. Иногда трубы и изометричные тела оконтуриваются на каком-либо горизонте кольцевым штреком, идущим по контакту. Очень редко контуры тела бывают видны при геологическом изучении выходов (обрушения, оседания, выклинивания и др.).

В большинстве случаев в процессе разведки контуры месторождений и тел полезного ископаемого в интервалах между соседними выработками в

каждом разрезе и между соседними разрезами проводятся путем интерполяции. В краевых частях месторождений, на флангах и на глубине, ниже самых глубоких разведочных выработок, вскрывших полезное ископаемое, производится экстраполяция. При этом проводятся внешний и внутренний контуры (рис. 3).

Внутренний контур проводится по методу интерполяции через крайние выработки, пересекающие тело полезного ископаемого, и является надежным в смысле достоверности, хотя обычно несколько преуменьшает размеры тела. Внутренний контур характеризует гарантированные размеры тела полезного ископаемого (месторождения) в пределах разведанной площади.

Внешний контур проводится за пределами разведочных выработок, вскрывших тело полезного ископаемого, и характеризует предположения исследователя о естественных границах тела полезного ископаемого. Точное положение естественных границ на флангах и на глубине чаще всего остается неизвестным до окончания разработки месторождения. Отсюда вытекает главная задача разведки в отношении изучения формы: возможно более достоверное определение естественных границ (контуров) тела полезного ископаемого. В зависимости от способа экстраполяции разведочных данных и от характера и интенсивности изменчивости формы тела полезного ископаемого (месторождения) эта задача решается с различной степенью точности.

Проведение внешнего контура осуществляется двояко:

а) способом ограниченной экстраполяции, когда контур проводится между разведочными выработками, вскрывшими полезное ископаемое, и выработками, не встретившими его;

б) способом неограниченной экстраполяции, когда за внутренним контуром вообще нет разведочных выработок.

В первом случае возможности экстраполяции ограничены пределами полосы между рядом выработок, вскрывших полезное ископаемое, и «пустыми» выработками, и следовательно, ошибка экстраполяции зависит главным образом от ширины этой полосы. В большинстве случаев она невелика, так как расстояние между разведочными выработками не бывает очень большим. Лишь в начальный период разведки, при весьма удаленных друг от друга разведочных выработках, ошибка ограниченной экстраполяции может быть значительной. Обычно при ограниченной экстраполяции внешний контур проводится посередине между выработками, пересекающими залежь полезного ископаемого, и выработками, показавшими ее отсутствие (если нет более убедительных геологических данных).

Оконтуривание по среднему углу выклинивания, описываемое в большинстве руководств, не может быть рекомендовано, так как обычно проведенный таким способом контур оказывается в резком противоречии с природными фактами; он может подтвердиться лишь в крайне редких случаях. В случае неограниченной экстраполяции задача проведения внешнего контура становится наименее определенной и обычно

многовариантной. Тем не менее существует целый ряд приемов, позволяющих провести границу тела полезного ископаемого при отсутствии «оконтуривающих» выработок, показывающих отсутствие полезного ископаемого. Все эти приемы можно разделить на две группы: геологические и формальные.

Геологические приемы проведения внешнего контура наиболее убедительны. Главнейшие из них следующие:

- 1) проведение внешнего контура по границе различных фаций — надежный прием для месторождений осадочного происхождения;
- 2) проведение внешнего контура по границе «благоприятных» пород, часто применяемое на эпигенетических месторождениях;
- 3) проведение внешнего контура по тектоническому нарушению, которое может ограничивать залежь полезного ископаемого (рис. 4);
- 4) проведение внешнего контура по естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого. Здесь можно различать два технических способа определения места выклинивания, или «нулевого контура», залежи: способ разрезов и способ изолиний.

Формальные приемы проведения внешнего контура неограниченной экстраполяции применяются в тех случаях, когда нет сколько-нибудь убедительных геологических данных о границах распространения продуктивной зоны (площади) за пределы участка, освещенного разведочными выработками. В этих случаях внешний контур проводится в зависимости от размеров месторождения (тела) с учетом плотности сети разведочных выработок. В практике часто применяются следующие формальные приемы неограниченной экстраполяции:

- 1) проведение внешнего контура параллельно внутреннему на расстоянии, равном расстоянию между разведочными выработками или половине среднего расстояния между ними (для морфологически неустойчивых тел полезного ископаемого);
- 2) проведение внешнего контура в зависимости от линейных размеров тела полезного ископаемого. По этому приему внешний контур образует треугольник, у которого высота принимается равной половине длины тела полезного ископаемого (рис. 5, а). Видоизменением этого приема является проведение внешнего контура по периметру прямоугольника с высотой, равной четверти длины тела полезного ископаемого (рис. 5, б);
- 3) проведение внешнего контура по поверхности конуса (для изометрических тел). Основанием этого конуса служит площадь сечения тела полезного ископаемого, ограниченная внутренним контуром, а высота равна половине среднего поперечного размера тела (рис. 6). Иногда на этом же основании строится полушарие.

Все эти привычные, а также другие возможные приемы оконтуривания месторождений, по формальным соображениям являются в значительной мере субъективными и ничем необоснованными. Поэтому их следует по возможности избегать.

Рано или поздно, по мере детализации разведки, неограниченная экстраполяция сменяется по всей периферии тела полезного ископаемого экстраполяцией ограниченной и, таким образом, залежь оконтуривается достаточно точно. Однако всегда желательно представлять общие контуры месторождения как можно раньше — и для решения перспективных вопросов эксплуатации месторождения и для рационального направления дальнейших детальных разведочных работ. Поэтому в практике разведки контуры тела полезного ископаемого в первом приближении устанавливаются редкой сетью разведочных выработок.

Существуют три основных способа оконтуривания тела полезного ископаемого на поверхности:

- 1) проведение двух разведочных линий «крестом», т. е. под прямым углом друг к другу (рис. 7, а);
- 2) проведение редкой правильной сети разведочных выработок (рис. 7, б) — наиболее распространенный и универсальный способ оконтуривания;
- 3) векторный способ: проведение разведочных выработок по линиям — векторам, направленным от некоторой начальной точки (рис. 8). Последний способ предложен в 1957 г. Д. А. Зенковым и К. Л. Семеновым.

Все эти работы нужно строить исходя из четвертого и пятого принципов разведки и помнить, что всякие надуманные усложнения только мешают в производстве геологоразведочных исследований. Кроме того, необходимо учитывать, что поверхностные выработки — самые дешевые и экономия на этих выработках часто вызывает в дальнейшем большой перерасход на глубинных разведочных работах.

ПРИЛОЖЕНИЕ

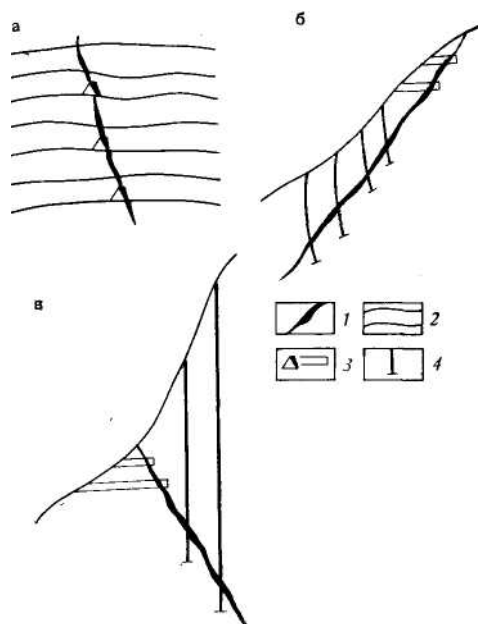


Рис. 1. Влияние условий залегания тела полезного ископаемого на выбор средств разведки
 а — тело простирается перпендикулярно склону и выходит на поверхность; б—тело простирается вдоль склона и падает «под гору»; в — тело простирается вдоль склона и падает «в гору». 1 —тело полезного ископаемого; 2 — горизонтالي склона; 3 — горные выработки (штольни); 4 — скважины

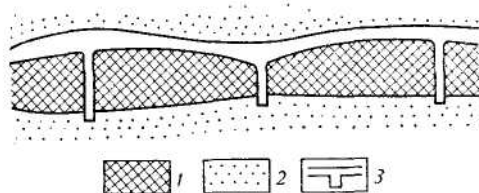


Рис. 2. Схема проходки разведочной выработки вдоль контакта тела полезного ископаемого и вскрытие последнего ортами.

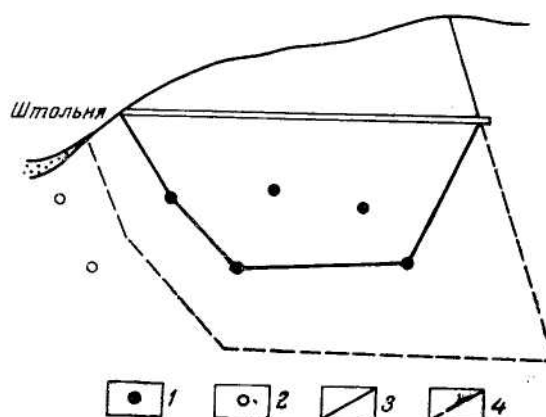


Рис. 3. Оконтуривание крутопадающего тела полезного ископаемого в проекции на вертикальную плоскость
 / — точки пересечения тела полезного ископаемого скважинами; 2 — скважины, не встретившие полезного ископаемого; 3 — линия внутреннего контура; 4—линия внешнего контура

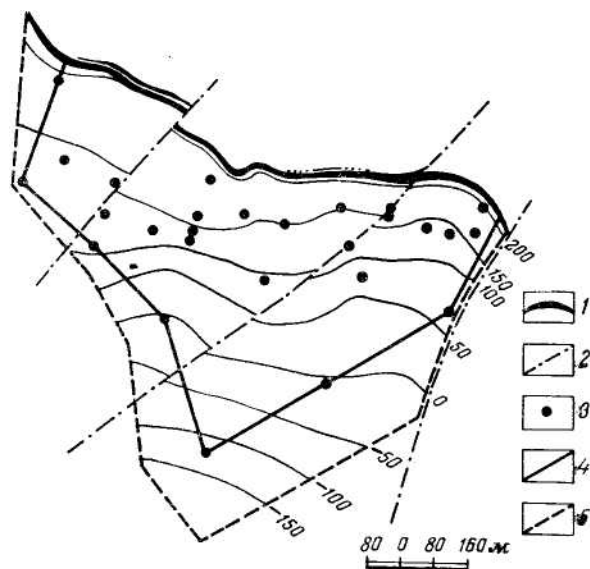


Рис. 4. Проведение внешнего контура по тектоническому нарушению на восточном фланге месторождения (по В. И. Смирнову, с видоизменениями)

1 — выход пласта; 2 — линии тектонических нарушений; 3 — буровые скважины, пересекающие рудное тело; 4 — линия внутреннего контура; 5 — линия внешнего контура

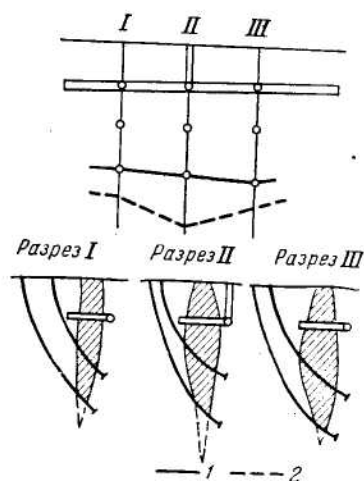


Рис. 5. Проведение внешнего контура по способу разрезов (по В. И. Смирнову)
/ — внутренний контур; 2 — внешний контур

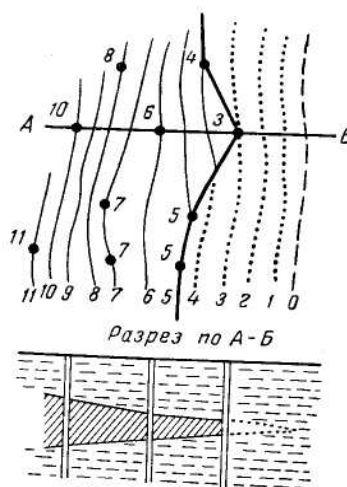


Рис. 6. Проведение внешнего контура по способу изолиний мощности (по В. И. Смирнову)

Цифры около скважин показывают вскрытую мощность полезного ископаемого

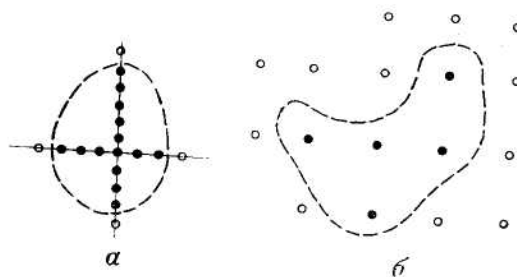


Рис. 7. Универсальные способы оконтуривания тел полезных ископаемых
 а — оконтуривание «крестом»; б — оконтуривание сетью разведочных выработок

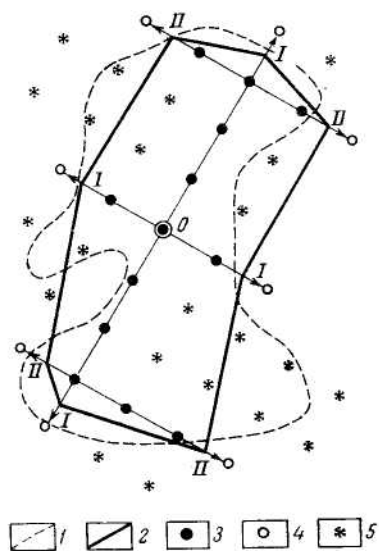


Рис. 8. Векторный способ оконтуривания тел полезных ископаемых (по Д. А. Зенкову, с видоизменениями)

I — векторы первой очереди; II — векторы второй очереди
 1 — истинный контур тела; 2 — контур, проведенный по данным векторных ходов; 3 — продуктивные разведочные выработки; 4 — пустые разведочные выработки; 5 — пункты будущей сети детальной разведки месторождения

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

На основании результатов разведочных работ подсчитывается находящееся в недрах разведанного месторождения количество минерального сырья (руды, металла), которое называется запасами.

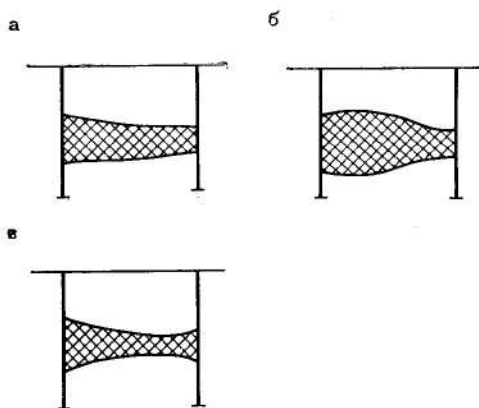


Рис. 1. Схема контура полезного ископаемого (заштриховано):
а — по интерполяции; б, в — фактические контуры больше и меньше интерполированных.

Подсчет запасов минерального сырья в недрах разведанного месторождения производится на основании измерения размеров тел полезных ископаемых и определения содержания полезного компонента по отдельным пересечениям в горных выработках или в буровых скважинах, интерполяции этих данных между разведочными выработками и экстраполяции за пределы пересечений.

В связи с тем, что обычно закономерность изменения мощностей рудных тел и содержаний полезного компонента между сечениями и за их пределами неизвестна, то как интерполяция, так и экстраполяция производятся по прямолинейному способу, т. е. границы измеренных величин соединяются между собой прямыми линиями (мощность), а для содержаний предполагается постепенное увеличение или уменьшение его от одной точки замера к другой.

Такое оконтуривание прямолинейными границами, как правило, не совпадает с истинными границами измеряемых величин. Оно может быть как меньше их, так и больше (рис. 1).

Поэтому запасы минерального сырья, подсчитанные при указанном допущении прямолинейного изменения величин, входящих в подсчет запасов, всегда могут отличаться от действительных запасов.

Величина отклонения подсчитанных запасов от действительных зависит главным образом от сложности строения тела полезного ископаемого и распределения в нем полезного компонента, а также от детальности разведки. Очевидно, чем сложнее строение месторождения, чем резче колебания мощности тела и содержания полезного компонента, тем выше

отклонения этих величин от средних данных, полученных в соседних пересечениях, и тем меньше достоверность подсчитанных запасов. Также очевидно, чем больше расстояние между пересечениями, чем уже эти пересечения, тем большая погрешность может быть допущена в определении средних величин между ними и тем меньше будет достоверность подсчитанных запасов. В связи с изложенным может быть сформулировано правило (по В. И. Смирнову): чем неравномернее тело полезных ископаемых по морфологии и распределению в них полезного компонента и чем меньше детальность разведки, тем ниже достоверность подсчитанных запасов.

По степени достоверности величин подсчитанных запасов, разведанности и изученности их они разделяются на ряд категорий запасов. Такое разделение запасов по степени их достоверности, разведанности и изученности называется классификацией запасов.

Еще в ранние этапы развития поисков, разведок и разработки полезных ископаемых обнаруживалось стремление к практической оценке месторождений минерального сырья, к определению качества и вероятного количества его в недрах. Это связано прежде всего с тем, что для освоения месторождений минерального сырья и их разработки необходимы капиталовложения, которые требуют определенных гарантий возврата. При этом, чем больше капиталовложения, тем надежнее должны быть запасы минерального сырья. Это привело к необходимости разделять общие запасы полезных ископаемых по степени их надежности на отдельные категории. В конце прошлого века английские горные инженеры стали выделять из общих запасов запасы видимой руды.

В 1902 г. Лондонский институт горного дела и металлургии рекомендовал запасы видимой руды разделять на две категории: руда оконтуренная и руда неоконтуренная. В 1903 г. П. Аргэлл предложил выделять три категории запасов: вскрытая, вскрываемая и ожидаемая руда. После обсуждения этого предложения тот же Лондонский институт опубликовал проект классификации запасов, согласно которому запасы разделялись на три категории: видимая руда, вероятная и возможная. Несколько позднее (1909 г.) Г. Гувером были уточнены названия и понятия этих трех категорий запасов, которые рекомендовано называть: установленная руда, вероятная и возможная. Эта классификация стала широко известной и была принята во многих странах. Применяется она и в настоящее время.

В США принята классификация запасов, согласно которой все запасы делятся на три категории: измеренные, выведенные и предполагаемые.

В настоящее время действуют три классификации запасов — для твердых полезных ископаемых, для нефти и газа и для запасов питьевой воды и технической (включая и минеральные воды для курортов и лечебных заведений). Ниже разбирается только классификация запасов для твердых полезных ископаемых.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Классификация запасов устанавливает единые принципы подсчета и государственного учета запасов твердых полезных ископаемых в недрах по степени их изученности и народнохозяйственному значению, условия, определяющие подготовленность разведанных месторождений для промышленного освоения, а также основные принципы оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.

2. Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются и учитываются по результатам геологоразведочных работ и всех видов горных и буровых работ, выполняемых в процессе промышленного освоения месторождений. Данные о запасах используются при разработке схем развития отраслей народного хозяйства, добывающих и потребляющих минеральное сырье, планировании геологоразведочных работ; а по месторождениям, подготовленным к промышленному освоению,— для проектирования предприятий по добыче полезных ископаемых и переработке минерального сырья, планирования развития горных работ и эксплуатационной разведки.

Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых, наличие которых предполагается на основе общих геологических представлений, научно-теоретических предпосылок, результатов геологического картирования, геофизических и геохимических исследований, оцениваются в границах бассейнов, крупных районов, рудных узлов, рудных полей и отдельных месторождений. Данные о прогнозных ресурсах используются для планирования поисково-оценочных и геологоразведочных работ.

3. Запасы подсчитываются и учитываются, а прогнозные ресурсы оцениваются отдельно по каждому виду твердых полезных ископаемых и направлению их возможного промышленного использования.

4. По комплексным месторождениям подлежат обязательному подсчету и учету запасы основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, а также содержащихся в них компонентов (металлов, минералов, химических элементов и их соединений), целесообразность промышленного использования которых определена утвержденными кондициями на минеральное сырье. Подсчет и учет запасов полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение, производятся по наличию их в недрах без учета потерь и разубоживания при добыче, обогащении и переработке; запасы попутных компонентов, накапливающихся при обогащении в товарных концентратах или продуктах металлургического передела, подсчитываются и учитываются как в недрах, так и в извлекаемых минералах.

Количественная оценка запасов месторождений твердых полезных ископаемых производится комплексно. При этом используются требования к качеству и технологическим свойствам полезных ископаемых, предусмотренные кондициями, утвержденными для известных аналогичных месторождений, с учетом возможных изменений указанных требований в ближайшей перспективе.

5. Оценка качества полезных ископаемых производится в зависимости от возможных направлений их использования в народном хозяйстве в соответствии с утвержденными кондициями, требованиями действующих государственных и отраслевых стандартов, технических условий и с учетом технологии их добычи и переработки, обеспечивающей комплексное использование добытого минерального сырья в естественном виде или извлечение из него компонентов, имеющих промышленное значение. При этом определяются содержание полезных и вредных компонентов и формы их нахождения.

6. Подсчет и учет запасов и оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых производятся в единицах массы или объема.

3. КАТЕГОРИИ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. Запасы твердых полезных ископаемых по степени их изученности подразделяются на разведанные — категории А, В и С₁, и предварительно оцененные — категория С₂.

2. Запасы **категории А** должны удовлетворять следующим требованиям:

установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения, выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки внутри тел полезного ископаемого, при наличии разрывных нарушений установлены их положение и амплитуды смещения;

определены природные разновидности, выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены их состав, свойства и распределение ценных и вредных компонентов по минеральным формам; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями показателям;

технологические свойства полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы его переработки с комплексным извлечением содержащихся в нем компонентов, имеющих промышленное значение;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения;

контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам.

3. Запасы **категории В** должны удовлетворять следующим требованиям:

установлены размеры, основные особенности и изменчивость формы, внутреннего строения и условий залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение внутренних безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлены их положение и амплитуды смещения, охарактеризована возможная степень развития малоамплитудных разрывных нарушений;

определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественного соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями показателям;

технологические свойства полезного ископаемого изучены в степени, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное его использование с извлечением компонентов, имеющих промышленное значение;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей качественно и количественно охарактеризовать их основные показатели и влияние на вскрытие и разработку месторождения;

контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам с включением (при выдержанных мощности тел и качестве полезного ископаемого) ограниченной зоны экстраполяции, обоснованной геологическими критериями, данными геофизических и геохимических исследований.

4. Запасы **категории С₁**, должны удовлетворять следующим требованиям:

выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, а для пластовых месторождений и месторождений строительного и облицовочного камня также наличие площадей интенсивного развития малоамплитудных тектонических нарушений;

определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого, установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; качество выделенных промышленных (технологических) типов

и сортов охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями показателям;

технологические свойства полезного ископаемого охарактеризованы в степени, достаточной для обоснования промышленной ценности разведанных запасов;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;

контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологически обоснованной экстраполяции.

5. Запасы **категории С₂** должны удовлетворять следующим требованиям:

размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого единичными скважинами или горными выработками;

качество и технологические свойства полезного ископаемого определены по результатам исследований единичных лабораторных проб либо оценены по аналогии с более изученными участками того же или другого подобного месторождения;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия оценены по имеющимся для других участков месторождения данным, наблюдениям в разведочных выработках и по анало/ии с известными в районе месторождениями;

контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций на основании единичных скважин, горных выработок, естественных обнажений или по их совокупности, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологических построений, а также путем геологически обоснованной экстраполяции параметров, использованных при подсчете запасов более высоких категорий.

6. Запасы комплексных руд и содержащихся в них основных компонентов подсчитываются по одним и тем же категориям. Запасы попутных компонентов, имеющих промышленное значение, подсчитываются в контурах подсчета запасов основных компонентов и оцениваются по категориям в соответствии со степенью их изученности, характером распределения, форм нахождения и технологией извлечения.

7. На разрабатываемых месторождениях вскрытые, подготовленные и готовые к выемке, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок запасы полезных ископаемых подсчитываются отдельно с подразделением по категориям в соответствии со степенью их изученности.

3. ГРУППЫ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них полезных компонентов по их народнохозяйственному значению подразделяются на две группы, подлежащие отдельному подсчету и учету:

балансовые, использование которых согласно утвержденным условиям экономически целесообразно при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

забалансовые, использование которых согласно утвержденным условиям в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в том случае, если в технико-экономическом обосновании условий доказана возможность их сохранности в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем. При подсчете забалансовых запасов производится их подразделение в зависимости от причин отнесения запасов к забалансовым (экономических, технологических, гидрогеологических или горнотехнических).

Запасы твердых полезных ископаемых, заключенные в охранных целях крупных водоемов и водотоков, населенных пунктов, капитальных сооружений и сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры, относятся к балансовым или забалансовым на основании специальных технико-экономических расчетов, в которых учитываются затраты на перенос сооружений или специальные способы обработки запасов.

5. ПОДГОТОВЛЕННОСТЬ РАЗВЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (УЧАСТКОВ) ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

1. Целесообразная степень изученности месторождений (участков), подготовленных для промышленного освоения, определяется в зависимости от сложности их геологического строения и распределения полезных ископаемых, а также экономических факторов — затрат средств и времени, требуемых на производство геологоразведочных работ. С учетом этого месторождения или участки крупных месторождений, намечаемые к отработке самостоятельными предприятиями по добыче полезных ископаемых, подразделяются на следующие группы.

1-я группа. Месторождения (участки) простого геологического строения, преобладающая часть запасов которых содержится в телах полезного ископаемого с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, выдержанными мощностью, внутренним строением и качеством полезного

ископаемого, с равномерным распределением в них основных ценных компонентов, что определяет возможность выявления в процессе детальной разведки запасов категорий А и В.

2-я группа. Месторождения (участки) сложного геологического строения, характеризующиеся изменчивыми мощностью и внутренним строением тел полезного ископаемого либо нарушенным их залеганием, невыдержанным качеством полезного ископаемого или неравномерным распределением основных ценных компонентов, а также месторождения углей и ископаемых солей простого геологического строения, но с очень сложными горно-геологическими условиями разработки. На месторождениях этой группы выявление при детальной разведке запасов категории А нецелесообразно вследствие недостаточной эффективности и высокой стоимости геологоразведочных работ. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются по категориям В и С.

3-я группа. Месторождения- (участки) очень сложного геологического строения, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения либо интенсивно нарушенным залеганием тел полезного ископаемого или невыдержанным качеством полезного ископаемого и весьма неравномерным распределением основных ценных компонентов. На месторождениях этой группы выявление при детальной разведке запасов категорий А и В нецелесообразно вследствие высокой стоимости их разведки и низкой ее эффективности. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются в основном по категории С₁, и частично по категории С₂.

4-я группа. Месторождения (участки) металлов и нерудного сырья весьма сложного геологического строения, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения либо интенсивно нарушенным залеганием тел полезного ископаемого, а также невыдержанным качеством и весьма неравномерным распределением основных компонентов, разведка которых требует проведения подземных горных выработок в больших объемах. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются по категориям С₁ и С₂. Дальнейшая разведка этих месторождений (участков) совмещается с их вскрытием и подготовкой к разработке.

2. Разведанные месторождения (участки) считаются подготовленными для промышленного освоения при соблюдении следующих условий:

а) балансовые запасы основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, а также содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение, утверждены ГКЗ или в соответствующих случаях территориальными комиссиями по запасам полезных;

б) утвержденные в установленном порядке балансовые запасы полезных ископаемых (основных компонентов в комплексных рудах), используемые при проектировании предприятия по добыче полезных

ископаемых, должны иметь следующее соотношение различных категорий (в процентах):

Категория запасов	Металлы и нерудные полезные ископаемые				Угли и горючие сланцы		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	1-я группа	2-я группа	3-я группа
A + B	30	20	—	—	50	50	—
в том числе A не менее	10	—	—	—	20	—	—
C ₁	70	80	80	50	50	50	100
C ₂	—	—	20	50	—	—	—

Для месторождений (участков) полезных ископаемых 4-й группы с гнездовым оруденением (ртуты, пьезооптического и некоторых видов кам несамоцветного сырья) утвержденные балансовые запасы категории C, должны составлять не менее 20 процентов суммарных балансовых запасов категорий C₁ и C₂.

Запасы категории C₂ на месторождениях (участках) 1, 2 и 3-й групп утверждаются в количестве, полученном в результате разведки. При этом ГКЗ 1СС-С-Н (ТКЗ) устанавливает возможность полного или частичного использования запасов этой категории при проектировании предприятия по добыче полезных ископаемых. Значительное превышение количества запасов, разведанных на месторождениях (участках) 1 и 2-й групп по категориям A и B, по сравнению с указанным без должного обоснования нецелесообразно.

Возможность промышленного освоения вновь разведанных месторождений (участков) всех групп при соотношениях балансовых запасов различных категорий, меньших против указанного, устанавливается ГКЗ (ТКЗ) при утверждении запасов на основе экспертизы материалов подсчета запасов.

На разрабатываемых месторождениях (участках) соотношение категорий утвержденных балансовых запасов, принимаемое при проектировании реконструкции предприятия по добыче полезных ископаемых или дальнейшего развития горно-эксплуатационных работ, может быть меньше указанного и устанавливается соответствующим горнодобывающим министерством на основе опыта разработки месторождения;

в) вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы его переработки с комплексным извлечением содержащихся в нем компонентов, имеющих промышленное значение. Извлечение попутных компонентов, отнесение запасов которых к

балансовым определено принятыми при утверждении постоянных кондиций технико-экономическими расчетами, проектируется исходя из степени их изученности;

г) гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения (участка);

д) участки и горизонты месторождения, намеченные при технико-экономическом обосновании производства детальной разведки к первоочередной отработке, разведаны наиболее детально. Запасы на таких участках и горизонтах месторождений 1 и 2-й групп должны быть разведаны преимущественно по категориям А+В и В (соответственно), а на месторождениях 3 и 4-й групп — по категории С₂ В тех случаях, когда участки первоочередной отработки не характерны для всего месторождения по особенностям его геологического строения, качеству полезного ископаемого и горно-геологическим условиям, должны быть детально изучены также участки, удовлетворяющие этому требованию. Полученная по детально изученным участкам информация используется для оценки достоверности подсчетных параметров, принятых при подсчете запасов на остальной части месторождения, и условий разработки месторождения в целом;

е) запасы других полезных ископаемых, залегающих на подготовленном к промышленному освоению месторождении (участке) совместно с основными полезными ископаемыми, должны быть изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможного направления народнохозяйственного использования. При наличии потребителя эти запасы должны быть детально разведаны и подсчитаны в соответствии с требованиями, предусмотренными для соответствующих видов полезных ископаемых. Вскрышные породы, пригодные для использования в качестве строительных материалов, разведываются предварительно, а при наличии потребности в них — детально в количестве, определенном плановым органом республики (края, области) или министерством — потребителем сырья. Должна быть изучена возможность промышленного использования отходов, получаемых при рекомендуемой технологической схеме переработки минерального сырья;

6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Эффективность геологоразведочных работ определяется величиной затрат на весовую или объемную единицу разведанных запасов минерального сырья (т или м³):

$$\mathcal{E} = Z_p : Q$$

где $\mathcal{E}$ — эффективность разведочных работ;

Z_p — затраты на разведку, руб.;

Q — разведанные запасы, т.

Следовательно, эффективность — это себестоимость разведки 1 т минерального сырья.

В настоящее время затраты на разведку месторождений включены в цены на готовую продукцию соответствующего сырья и в общегосударственном масштабе возвращаются при реализации готовой продукции.

В затраты на разведку не включается стоимость региональной съемки территории в масштабе 1 : 50 000 и мельче. Количество запасов определяется как сумма запасов всех категорий, при этом установлены следующие коэффициенты, учитывающие различную детальность разведки:

$$(A+B) : C_1 : C_2 = 3 : 1 : 0,2.$$

Для оценки эффективности отдельных стадий разведки месторождения должна быть учтена себестоимость разведки по приросту и по переводу запасов из низких категорий в более высокие.

При переводе запасов в высшую категорию количество их определяется с учетом разности указанных коэффициентов. Например, из C_2 перевели в категорию C_1 2 млн. т, это соответствует приращению запасов по категории C_1 $2 \cdot (1 - 0,2) = 1,6$ млн. т.

Вместо издержек на разведку в рублях во многих случаях эффективность разведки оценивается по натуральным показателям, например в метрах буровых скважин на тонну запасов или в метрах однотипных горных выработок. Этот показатель далеко не полный и не учитывает затраты на опробование, геофизические работы на строительство и др. Однако в пределах одного и того же района, бассейна эти показатели можно сравнивать и делать соответствующие выводы.

Указанные способы учета эффективности геологоразведочных работ далеко не совершенны. Соотношение затрат на различные виды работ и соотношение объемов последних для различных месторождений и категорий запасов может резко меняться. Поэтому в общем случае оценка эффективности геологоразведочных работ по какому-либо одному виду работ или по единым переводным коэффициентам не может дать точных показателей. Для получения надлежащих показателей необходима организация учета затрат на разведку каждого месторождения по категориям разведанности запасов.

Себестоимость разведки 1 т минерального сырья не дает полной характеристики эффективности разведочных работ. Остаются неучтенными масштаб месторождения, горнотехнические и геофизические условия, дефицитность и ценность сырья и др.

Более наглядные данные об эффективности разведки можно получить, если стоимость разведки отнести к ценности извлекаемой продукции:

$$\mathcal{E}p = \frac{C_p \cdot 100}{Ц}$$

где $\mathcal{E}p$ — эффективность разведки, %;

C_p — себестоимость разведки 1 т продукции, руб.;

Π — оптовая цена 1 т продукции, руб.

Повышение эффективности разведочных работ следует осуществлять по трем основным направлениям.

1. Повышение технического и организационного уровня разведочных работ — разработка и внедрение новых видов бурения с целью повышения производительности бурения и снижения его стоимости; механизация проходки горно-разведочных выработок и создание постоянных высококвалифицированных кадров.

2. Совершенствование методики разведки и более широкое использование геофизических методов.

3. Рациональное планирование геологоразведочных работ. Важно, чтобы детально разведанные месторождения быстрее передавались промышленности для освоения.

Эффективность разведочных работ еще не говорит об эффективности затрат на разведку данного месторождения с точки зрения народного хозяйства. Можно очень быстро и дешево разведать месторождение, но отработка его будет неэффективной или вообще нерентабельной.

ОПРОБОВАНИЕ. ЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ОПРОБОВАНИЯ, СПОСОБЫ ОТБОРА ПРОБ

1. ЗНАЧЕНИЯ ОПРОБОВАНИЯ

Опробованием называется комплекс специальных работ, выполняемых для изучения состава и свойств минерального сырья, определяющих его качество и возможность использования в промышленности.

При геологическом изучении того или иного района и, особенно при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, изучение качества и технологических свойств минерального сырья является обязательным и имеет огромное значение. Еще М. В. Ломоносов говорил, что «...обыск камней без пробы скучен и сомнителен».

Осуществляется опробование путем отбора в горных выработках, буровых скважинах и естественных обнажениях (выходах) тел полезных ископаемых обычно небольших порций минерального сырья, которые называются пробами.

Опробование является одной из наиболее ответственных операций геологоразведочных работ и значение его трудно переоценить. По данным опробования оценивается качество минерального сырья, выделяются его сорта и типы, выясняются закономерности распределения полезных компонентов в пространстве, особенности размещения обогащенных и убогих участков, их размеры и взаимоотношения. Эти данные совершенно необходимы для нормальной работы действующего или проектируемого горнорудного предприятия и решения многих вопросов, в частности:

- 1) для направления геологоразведочных и подготовительно-эксплуатационных работ; что в первую очередь относится к месторождениям, на которых тела полезных ископаемых не имеют четких геологических контактов и постепенно переходят во вмещающие породы; границы промышленно ценного минерального сырья устанавливаются только по результатам опробования;

- 2) для оконтуривания участков тел полезных ископаемых, различных по качеству минерального сырья, и выбора наиболее целесообразного способа его переработки;

- 3) для контроля за полнотой отработки минерального сырья, предупреждения «хищнической» разработки (выработки наиболее богатых участков), получения данных для определения потерь и разубоживания при эксплуатации месторождений и для разработки мероприятий по борьбе с ними;

- 4) для составления планов добычи минерального сырья (руды, металла);

- 5) для определения запасов минерального сырья, являющихся основой промышленной оценки месторождения.

Природное минеральное сырье обычно разделяют на газообразное, жидкое и твердое. Опробование газообразного минерального сырья (горючие и негорючие газы) и жидкого (нефть, рассолы, вода) является предметом рассмотрения специальных дисциплин. Ниже рассматриваются только вопросы, связанные с опробованием твердых полезных ископаемых, которыми могут быть: а) элементы — железо, марганец, медь, свинец, цинк, золото, серебро, олово, вольфрам, молибден, никель и др.; б) минералы — асбест, слюда, пьезокварц и др.; в) горные породы — гранит, известняк и др.

2. ВИДЫ ОПРОБОВАНИЯ

В зависимости от назначения и характера испытаний минерального сырья различают следующие виды опробования.

Химическое опробование применяется для определения химического состава минерального сырья и содержаний полезных и вредных компонентов. Термин «химическое опробование» несколько устарел. В настоящее время состав минерального сырья и содержания полезных компонентов определяют не только по данным химических анализов.

В последние годы широко развиваются и внедряются в практику другие методы анализов, например спектральный, по данным которого определяются содержания германия и подсчитываются его запасы; фотонейтронный метод успешно применяется для определения содержания бериллия; полярографическим методом очень точно определяют содержания многих сульфидов — меди, цинка, свинца и др. Имеются примеры разработки и внедрения в практику ядерных методов (ВИМСом предложен прибор «Феррит», который с успехом применяется в Кривом Роге для определения содержаний железа в руде и т. п.).

Минералого-петрографическое опробование применяется для изучения структур и текстур пород и руд, их минерального состава, размеров и формы минералов. Эти сведения необходимы для выбора способа переработки минерального сырья.

Техническое опробование проводится для определения физико-механических свойств минерального сырья. Например, строительные материалы исследуются на сопротивление сжатию, изгибу, на морозостойкость; в глинах определяются их керамические свойства (огнеупорность, пластичность, спекаемость, огневая усадка); листовая слюда (мусковит, флогопит) подвергается испытаниям для определения электротехнических свойств; в пробах угля определяются калорийность, зольность, коксующесть и т. д.

К техническому опробованию следует отнести и пробы, отбираемые для определения объемного веса минерального сырья и влажности. Без этих сведений подсчет запасов большинства полезных ископаемых практически невозможен.

Технологическое опробование проводится для изучения технологических свойств минерального сырья (в лабораторных, полужаводских и

заводских условиях) и выбора схемы его переработки, нередко с получением не только продуктов обогащения, но и конечной продукции.

Для изучения технологических свойств минерального сырья в полужавоцких и заводских условиях размеры проб обычно согласовываются с организацией, производящей испытания (исследовательским институтом). Вес таких проб может колебаться в широких пределах — от нескольких сотен килограммов до сотен и первых тысяч тонн.

3. СПОСОБЫ ОТБОРА ПРОБ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ НА КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

При отборе проб в горных выработках различают следующие типы проб (рис. 1): 1) точечные (штуфные) — отобранные в одной точке; 2) линейные — отобранные по линии, пересекающей тело; 3) плоскостные — отобранные по всей плоскости, пересекающей тело; 4) объемные — в пробу поступает весь материал, полученный от данной проходки (или нескольких проходок) или отобранная часть его.

При изучении коренных месторождений наиболее распространены следующие способы опробования тел полезных ископаемых в горных выработках: штуфной, бороздовый, задиpкoвый, валовый, шпуровой, точечный и вычерпывания. Для каждого способа разработаны нормы выработки, предусматривающие время и стоимость отбора проб в зависимости от плотности (крепости) пород и условий работы. Эти нормы систематически пересматриваются, уточняются и являются официальными документами, которыми необходимо руководствоваться при определении сроков выполнения намечаемых работ и их сметной стоимости.

Штуфной способ заключается в отборе 1—3 кусков (штуфов) типичного минерального сырья (или породы) в забое или от уже отбитой рудной массы. Вес отдельных кусков пробы обычно 0,2—0,5 кг. Отбойка штуфов производится вручную с помощью зубила и молотка.

Представительность (репрезентативность) штуфных проб, т. е. соответствие их среднему качеству опробуемого минерального сырья, определяется глазомерно. Штуфное опробование отличается простотой, быстротой и дешевизной. В то же время существенными его недостатками являются низкая точность и необъективность отбора штуфов. Эти недостатки особенно ярко проявляются при опробовании минерального сырья с неравномерным и весьма неравномерным распределением полезного или вредного компонента, что может привести к серьезным ошибкам при оценке качества минерального сырья. Поэтому штуфное опробование как систематическое не применяется, а используется только для ориентировочной оценки качества минерального сырья и проверки глазомерной оценки.

Разновидностью этого способа является отбор проб в виде монолитов, обычно для технических испытаний (сопротивление сжатию, объемного веса и др.). Чаще всего монолитам придается форма куба с размером сторон 10—20 см и более, в зависимости от намечаемых испытаний.

Бороздовый способ отбора проб заключается в выкалывании, вырубании или вырезании непосредственно в забое из тела полезного ископаемого материала пробы в виде ленты — борозды. Борозды должны располагаться вдоль линии наибольшей изменчивости состава и строения тела. Обычно наиболее изменчивым является направление по мощности тела, поэтому, как правило, и борозды проводятся по линии мощности. Расположение бороздовых проб в горных выработках зависит от условий залегания тел полезных ископаемых и от ориентировки выработок.

В канавах, пройденных вкрест простирания тел полезных ископаемых и прослеживающих тела по простиранию, бороздовые пробы обычно отбираются по дну (рис. 2, а, в), а при достаточном углублении канавы или пологом залегании тела могут отбираться и по стенке (см. рис. 2, б, г).

В штреках, штольнях и других горизонтальных горных выработках, прослеживающих тела полезных ископаемых по простиранию, бороздовые пробы располагаются в забоях в зависимости от угла падения тела: а) при вертикальном и крутопадающем залегании — горизонтально (рис. 3, а); б) при наклонном залегании (угол падения менее 60°) — наклонно (см. рис. 3, б); в) при горизонтальном и слабонаклонном залегании — вертикально (см. рис. 3, в). В забоях бороздовые пробы следует располагать на одной и той же высоте от почвы выработки, удобнее всего на высоте груди пробщика (1,5 м), что облегчает работу по отбойке проб. При крутом падении тел полезных ископаемых вместо забоев возможен отбор проб по кровле выработки (см. рис. 3, г). Это менее удобно, но имеет ряд преимуществ: а) дает возможность сохранять равные интервалы между пробами, что исключено при опробовании забоев, расстояния между которыми зависят от результатов отпалки; б) не задерживает проходку выработок; в) повышает объективность пробоотбора, так как места отбора проб намечаются однозначно в отличие от забоев, где место отбора пробы может быть выбрано пробщиком.

Недостатком отбора проб в кровле принято считать неравномерность отбойки материала с различных интервалов борозды в связи с кривизной кровли. Однако этот недостаток может быть исключен путем предварительной подготовки места отбора проб и его выравнивания, что необходимо делать во всех случаях перед отбойкой пробы.

При горизонтальном залегании тел полезных ископаемых пробы вместо забоев лучше отбирать по стенкам выработки (см. рис. 3, г). Отбор проб по стенкам имеет те же преимущества, что и опробование по кровле, а кроме того, более удобно по сравнению с отборами проб от забоев. Бороздовые пробы могут отбираться по одной или по двум стенкам выработки. По двум стенкам пробы отбираются для тел с крайне неравномерным распределением полезного компонента. При этом они могут располагаться либо друг против друга, либо в шахматном порядке. Лучше располагать пробы друг против друга, так как в этом случае удобнее определять среднее качество минерального сырья по сечению и использовать материалы опробования для подсчета запасов.

В квершлагах, ортах и других горизонтальных горных выработках, пересекающих тела полезных ископаемых вкрест их простирания, пробы отбираются на боковых стенках.

Маломощные тела (1—2 м и менее) опробуются одной бороздой (рис. 4, а), а более мощные — серией борозд, полностью перекрывающих тело полезного ископаемого по его мощности (см. рис. 4, б). Отбор проб может производиться как по одной, так и по двум противоположным стенкам.

В вертикальных выработках (шурфах, шахтах, восстающих) бороздовые пробы располагаются в зависимости от залегания тел, пересекаемых этими выработками. Горизонтальные и полого залегающие тела с углом падения менее 30° опробуются вертикальными бороздами (рис. 5, а) обычно по двум противоположным стенкам; крутопадающие тела — наклонными бороздами, ориентированными по мощности тела (см. рис. 5, б), также по двум стенкам; вертикальные тела опробуются серией горизонтальных борозд (см. рис. 5, в) по одной или двум стенкам.

Аналогично располагаются бороздовые пробы и в наклонных выработках, прослеживающих тела полезных ископаемых по падению.

Изложенный порядок расположения бороздовых проб относится к плоским вытянутым телам полезных ископаемых, для которых характерна повышенная изменчивость качества минерального сырья по линии мощности. Принцип ориентировки борозд по линии наибольшей изменчивости должен соблюдаться и для других по форме тел полезных ископаемых.

Трубообразные и столбообразные тела необходимо опробовать в плоскости поперечного сечения, при этом в случае концентрически-зонального строения тел пробы следует отбирать по радиальным направлениям.

В изометрических телах полезных ископаемых — штоках, штокверках, гнездах — для правильной ориентировки проб необходимо изучить и выявить преобладающее направление чередования рудных прожилков или зон и вкрест этому направлению располагать борозды. При отсутствии закономерности в распределении полезного компонента пробы могут быть расположены так, как это удобно для отбойки материала.

Некоторые тела полезных ископаемых, такие как полосчатые, слоистые, зональные, каждая часть которых имеет различное строение и концентрацию полезного компонента, требуют отдельного их опробования. В этих случаях бороздовые пробы разделяются на секции, отвечающие отдельным частям тела полезного ископаемого (рис. 6). Например, нередко при опробовании сульфидных тел самостоятельными секциями опробуются сплошные сульфидные руды, прилегающие к ним вкрапленные руды и минерализованные приальбандовые зоны. Опробование отдельными секциями позволяет изучать распределение полезного компонента в разных частях тела и решать вопрос о селективной разработке месторождения с отдельной выемкой различных типов и видов минерального сырья.

Самостоятельное опробование вмещающих пород, непосредственно примыкающих к рудному телу полезного ископаемого, необходимо и для определения разубоживания при добыче минерального сырья.

Длина бороздовых проб для тел полезных ископаемых малой и средней мощности определяется величиной мощности. Обычно при неравномерном распределении полезного компонента длина борозды не превышает 1 м, а при равномерном равна 2—3 м. При опробовании более мощных тел, например в кварцшлагах, общая борозда делится на секции 1—5 м и редко более. При секционном опробовании различных видов и типов минерального сырья длина борозды определяется мощностью этих разновидностей сырья.

Форма сечения борозды может быть квадратной, прямоугольной и треугольной. Наиболее распространена прямоугольная борозда, при этом глубина борозды 2—3 см, а ширина 5—15 см, в зависимости от мощности тела и равномерности распределения полезного компонента — чем меньше мощность тела и неравномернее распределение полезного компонента, тем шире и глубже борозда. Увеличение сечения борозды по мере сокращения мощности тел полезных ископаемых связано с необходимостью сохранения начального веса проб при уменьшении длины борозды.

Принятое сечение должно сохраняться по всей длине борозды, чтобы количество материала, получаемого с единицы длины (1 см), было бы везде одинаковым. Нарушение этого правила снижает точность опробования и может привести к искажению результатов опробования.

Отбойка бороздовых проб часто производится вручную зубилом и молотком или небольшой киркой. В мягких породах можно отбивать пробу кайлой или лопатой с прямоугольным концом.

В настоящее время в СНГ принимаются все меры для внедрения механизированного И. Я. Серебряна, в открытых горных выработках — карьерах, траншеях, канавах — успешно используется ударный прободоотборник УП-1 ВИТР, сконструированный на основе отбойного молотка типа МО-8у, МО-9у, МО-10у, со специальной буксой.

Пробоотборники характеризуются следующими данными: вес от 8,5 до 10,1 кг; давление воздуха 5 кг/см²; ударов в минуту от 1360 до 2000; расход воздуха 1,4 м³/мин.

Для отбора бороздовых проб можно использовать мотоперфораторы МПЛ, Варсоп, ВРН-65, ВРН-59 (при замене вращения ударным приспособлением). Для отбойки применяются многозубчатые коронки (рис. 7), армированные твердосплавными вставками марок ВК-15, двух типов: девятизубчатые — для пород средней крепости и тринадцатизубчатые — для пород очень крепких. Механизация прободоотбора позволяет резко сократить время отбора проб и стоимость. Для сохранения прямолинейности борозды можно использовать трафарет, который укрепляется на забое.

Очень важным показателем при отборе бороздовых проб является полнота сбора отбитого материала, который должен быть близок к 100%. Для сбора отбитого материала кусков и особенно мелочи — необходимо

подстилать специальный брезент. Для безопасности работы перед отбором проб следует тщательно осмотреть и обстукать поверхность пород во избежание обвала, а для защиты рук, глаз и ног следует пользоваться очками с небьющимися стеклами, рукавицами и плотной обувью. Аналогичные меры предосторожности следует соблюдать и при отборе проб другими способами.

Во всех случаях перед отбойкой проб намеченный для опробования участок (забой, стенка, кровля, подошва выработки) должен быть предварительно выровнен и очищен от пыли и грязи, а в некоторых случаях обмыт водой, что в первую очередь относится к канавам, которые чаще всего опробуются по дну.

Отбор проб должен сопровождаться тщательной геологической документацией; зарисовкой места взятия пробы в выработке и нанесением его на план опробования.

Достоинствами бороздового способа опробования являются его универсальность, объективность и высокая точность для большинства полезных ископаемых. Этот способ распространен очень широко и применяется для опробования самых разнообразных месторождений полезных ископаемых. Однако бороздовый способ не может быть применен: а) при опробовании очень тонких прожилков минерального сырья (например, руд благородных и редких металлов, при мощности прожилков менее 10 см), по которым поперечная борозда не обеспечивает достаточно надежного начального веса пробы; б) при опробовании минерального сырья с очень редкими зернами ценного минерала (конгломераты с самородками золота, гнезда хромшпинелидов с крупными включениями платины и др.); в) при опробовании минерального сырья с исключительно хрупкими вкрапленниками и скоплениями минералов, интенсивно выкрашивающихся при отбойке проб (особенно в трещиноватых породах), что приводит к избирательному выкрашиванию и искажению (обогащению или обеднению) результатов опробования. Такое положение наблюдается, например, на некоторых месторождениях киновари в песчаниках. Существенным недостатком бороздового опробования является его низкая производительность, связанная с ручным способом отбора проб.

За последние годы для целей эксплуатационного опробования стали использоваться разновидности бороздового способа: а) пунктирная борозда и б) плечные пробы.

Отбор проб пунктирной бороздой заключается в отбойке руды вдоль борозды в виде мелких кусков неправильной формы, размером 2—4 см в диаметре. Расстояния между местами отбойки кусков 3—5 см. Скорость отбора проб увеличивается в 5—10 раз по сравнению с бороздовым способом. Этот способ приближается к описанному ниже точечному способу, особенно когда отбивается не одна, а несколько пунктирных борозд в одном забое.

Способ пунктирной борозды находит широкое применение при эксплуатационном опробовании медных и некоторых других месторождений на

Урале. Особенно хорошие результаты он дает при опробовании руд с равномерным и весьма равномерным распределением полезного компонента. Очевидно, для целей эксплуатационного опробования этот метод может быть рекомендован и для месторождений в других районах. Однако при поисково-разведочных работах возможность использования способа пунктирной борозды вызывает сомнение, так как не дает полных материалов, необходимых для изучения распределения полезных компонентов на месторождении, оценки изменчивости содержаний и других параметров, выяснение которых при разведке является обязательным.

Пленочные пробы были предложены Д. А. Зенковым в 1944 г. По последним данным, удовлетворительные результаты получены при эксплуатационном опробовании крепких массивных руд, особенно трудных для других способов пробоотбора.

Для отбора пленочных проб используются многозубчатое долото или молоток, армированные твердыми сплавами. При отбойке пленочной пробы широкий конец долота прижимается к забою и продвигается вдоль намеченной борозды. Отбойка производится постукиванием кувалдочкой. Отбивается лента глубиной 2—3 мм — пленка, поэтому материал для пробы представлен мелкими кусочками. Благодаря достаточно широкой плоскости отбойного долота и многочисленности относительно мелких отбойных зубьев (до 24) каждый из них не может проникнуть глубоко в опробуемый массив, что обеспечивает отсутствие избирательного выкрашивания, в ряде случаев искажающего результаты обычных бороздовых проб.

Весьма перспективным представляется предложенный работниками ЦНИГРИ щелевой способ пробоотбора, являющийся разновидностью бороздового. В отличие от обычного бороздового способа проба широкой стороной поперечного сечения располагается перпендикулярно, а узкой — параллельно поверхности, на которой производится отбор. При этом глубина отбора пробы должна в 1,5—2 раза и более превышать ее ширину. В процессе отбора щелевых проб производится нарезка двух параллельных прорезей специально сконструированными пробоотборниками режущего типа, у которых в качестве режущего инструмента используются алмазные отрезные круги. Скол материала пробы, находящегося между прорезями, производится на расстеленный брезент специальными клиньями и молотком или же механизмом ударного действия с теми же клиньями, при этом процесс скола тем легче, а точность отбора пробы тем выше, чем больше глубина прорезей и меньше расстояние между ними. В случае неровного скола пробы «гребни», остающиеся на задней стенке щели, выравниваются тем же инструментом.

Предлагаемая ориентировка проб относительно поверхности стенки или забоя выработки и приемы ее выемки из целика позволяют:

а) до минимума сократить возможность взятия неравномерного количества материала пробы с каждого интервала;

б) использовать щелевой способ опробования не только на типах месторождений, на которых распространен бороздовый способ, но и на месторождениях с большей разницей в крепости рудных и нерудных минералов, где из-за их избирательного выкрашивания бороздовый способ в настоящее время не применяется;

в) механизировать в основном процесс отбора пробы, значительно повысив производительность, особенно в породах крепких и очень крепких (в два раза и более), и снизить его стоимость.

Нарезка щелевых проб осуществляется пробоотборниками конструкции ЦНИГРИ, технические характеристики которых приведены в табл. 1.

Задирковый способ отбора проб осуществляется путем среза сплошного слоя руды или другого минерального сырья со всей площади тела полезного ископаемого, вскрываемого забоем. Глубина среза обычно принимается 3—5 см. В случае прослеживания тела по простиранию или падению задирковая проба отбирается на интервалах, равных интервалам между пробами, отбираемыми другими способами.

При задирковом опробовании особенно важно следить за постоянством глубины отбойки, так как при излишнем углублении на мягких участках забоя и при недоуглублении на твердых выступах, имеющих различную концентрацию полезного компонента, результаты опробования искажаются.

Отбойку проб производят обычно вручную с помощью лопат, кайл, зубил, клиньев и отбойных молотков.

Объем задирковых проб изменяется в широких пределах — от 0,05 до 1 м³ и более, а вес их может изменяться от нескольких единиц до нескольких сотен килограммов, а иногда и тонн.

Задирковое опробование очень трудоемкое и дорогое, поэтому используется оно только в следующих случаях: а) для опробования маломощных тел полезных ископаемых (при мощности менее 10 см). Например, для опробования золотоносных и редкометальных жил, так как опробование другими способами не обеспечивает получение надежного первоначального веса проб. В этих случаях задирковая проба по существу представляет борозду, пройденную по жиле (рис.8.а); б) для контроля более простых и дешевых способов пробоотбора — бороздового, шпурового, точечного, вычерпывания; в) иногда для отбора технологических и технических проб (вместо валовых). В этих случаях глубина задиры увеличивается до 20 см, а задирке подвергается вся площадь забоя или часть кровли (стенки) выработки (см. рис. 8, б).

Валовое опробование заключается в том, что материалом пробы служит вся рудная масса, получаемая при проходке горной выработки по телу полезного ископаемого (в штольнях, шурфах, карьерах и др.) (рис. 9). Нередко для отбора валовых проб проходят специальные выработки — каналы, карьеры, шурфы, штольни, орты, гезенки и др.

Во многих случаях при опробовании крупных залежей полезных ископаемых количество материала, получаемого при проходке горных

выработок, оказывается чрезмерно большим и для целей опробования он может быть сокращен. Такое сокращение производят следующими способами:

1) в пробу отбирают отбитый материал только с отдельных интервалов проходки горной выработки. Интервалы, подлежащие опробованию, располагаются на определенных расстояниях, например через 3—8 м и более вдоль выработки, вскрывающей тело полезного ископаемого;

2) в пробу отбирают только часть отбитого материала при его транспортировке из горной выработки. Например, в пробу направляют каждую вторую, третью или каждую «энную» лопату, бадью или вагонетку. В этом случае отбитый материал сокращается до определенного объема и веса. Возможность такого сокращения в каждом конкретном случае проверяется, так как конечный вес и объем пробы должны быть представительными. Валовые пробы, составленные из большого количества мелких порций материала, например лопат, оказываются более представительными по сравнению с пробами, составленными из малого количества больших порций, например вагонеток или скипов.

Вес валовых проб обычно колеблется от 0,5—1,0 т до нескольких сотен тонн, а по объему они достигают нескольких десятков кубических метров. Например, пробы слюдосодержащих пегматитов отбирают в объеме 1,5—3 м³, пробы кирпичных глин — в объеме 5—10 м³. Известны валовые пробы весом в несколько тысяч тонн (например, пробы железной руды для опытной доменной плавки).

Валовые пробы позволяют производить технологические испытания руд в полужавоудском и заводском масштабе, с разработкой наиболее рациональной схемы переработки природного минерального сырья.

Для многих видов минерального сырья (слюда, асбест) эти пробы дают возможность определить выход полезного ископаемого из рудной массы и установить его качество и сортность.

При технологических испытаниях от валовых проб обычно отбирают малые пробы для химических анализов, минералогических исследований, для определения объемного веса, влажности и других характеристик.

Место отбора валовых проб тщательно документируется. Каждая проба оформляется специальным актом, в котором указывается место отбора, вес или объем пробы и дается описание отобранного материала и способа отбора. Обычно валовые пробы упаковываются в ящики и направляются в специализированные институты для проведения испытаний. Очень крупные пробы весом в несколько десятков и сотен тонн можно отгружать навалом (без упаковки) в автомашины или вагоны и сопровождать соответствующими документами.

Положительной стороной валового опробования является его высокая точность, отрицательной — необходимость отбора, транспортировки и обработки большого количества материала, что требует значительного времени, сильно усложняет и удорожает опробование. В связи с этим валовое

опробование применяется: а) для контроля всех других способов отбора проб; б) для опробования тел полезных ископаемых с крайне неравномерным распределением полезного компонента (золотоносные россыпи и др.); в) для отбора проб на технологические и технические испытания, особенно нерудных полезных ископаемых (слюда, асбест и др.).

При шпуровом способе опробования в пробу поступает материал (шлам), выбуриваемый в процессе проходки шпуров. Шпуры располагают по линии мощности тел полезных ископаемых, т. е. по линии наибольшей изменчивости качества минерального сырья, так же как и при бороздовом опробовании.

Шпуровое опробование осуществляется как специально задаваемыми шпурами для отбора проб, так и сбором шлама и буровой мути из шпуров, проходимых с целью продвижения забоев. В последнем случае сбор материала может быть полным из всех шпуров забоя или выборочным из отдельных шпуров, расположенных по линии наиболее полного пересечения тела полезного ископаемого. Полный сбор материала производится при бурении равномерных по строению тел, а выборочный — при полосчатом строении, которое не позволяет отбирать пробы из шпуров, пройденных по отдельным обогащенным или обедненным участкам тела полезного ископаемого (рис. 10, а, б).

Сбор выбуриваемого материала, составляющего пробу, осуществляется с помощью специального патрубка или тройника (рис. 11) в отстойниках. Собранный шлам отфильтровывают, просушивают и передают для дальнейшей обработки.

Особенностью шпурового опробования является возможность отбора проб за пределами забоев и стен горных выработок. Это используется для опробования мощных тел полезных ископаемых, не вскрываемых полностью горными выработками (см. рис. 10, в). Применение колонковых перфораторов позволяет вскрывать и оконтуривать залежи, расположенные за пределами горных выработок на расстоянии 15—20 м и более (см. рис. 10, г), оценивая качество минерального сырья по данным шпурового опробования.

Во многих случаях шпуровое опробование дает удовлетворительные результаты по сравнению с другими способами (например, бороздовым) и с успехом может быть использован, особенно при эксплуатационном опробовании. Положительными сторонами шпурового опробования являются: а) механизация пробоотбора; б) постоянное сечение пробы; в) непрерывность опробования при отборе проб в комплектах шпуров, которые бурятся для проходки выработок по телу полезного ископаемого; г) тонкое измельчение материала, почти не требующее последующей обработки; д) возможность опробования за пределами выработок.

Недостатки этого способа следующие: а) при обурировании забоев, идущих по простиранию тел полезных ископаемых, не всегда возможно расположить шпуры вкрест залежей по линии максимальной их

изменчивости, что может исключить применение шпурового способа; б) невозможность опробования маломощных тел; в) невозможность

точного секционного отбора проб; г) невозможность отбора проб непосредственно по стенкам забоев; д) невозможность производить геологическую документацию — зарисовку вдоль шпура — пробы; е) несовершенство приспособлений для сбора мути и шлама, что приводит к большим потерям выбуриваемого материала и к искажению результатов опробования; ж) возможность использования шпуровых проб только для определения химического состава минерального сырья.

Перечисленные недостатки не лишают возможности рекомендовать шпуровое опробование для широкого использования при соответствующих геологических условиях. Одновременно следует форсировать усовершенствование техники сбора выбуриваемого материала и ускорить серийное производство приборов.

Точечный способ заключается в отборе значительного количества кусков минерального сырья или горной породы из отдельных точек, располагаемых на определенных расстояниях друг от друга. Отбор кусков может производиться в забое от массива, из навала уже отбитой горной массы или от массы, погруженной в вагонетки, автомашины, вагоны. Отбор проб из отбитой массы иногда называют «горстьевым» способом.

Во всех случаях на участок, намеченный к опробованию, набрасывают веревочную сетку, из узлов или центров ячеек которой отбирают куски, составляющие пробу. Сетку чаще применяют квадратную (10 х 10, 20 х 20 см), реже ромбическую и прямоугольную (10 X 20, 20 X 40 см и др.). Прямоугольная сетка применяется для опробования маломощных тел (пластов, линз, жил), и в этом случае длинные стороны сетки вытягиваются по падению тела, а короткие — по линии наибольшей изменчивости качества минерального сырья — обычно по мощности тела. Расположение точек отбора проб показано на рис. 12.

При определенном навыке отбор кусков можно производить без веревочной сетки, отмеряя расстояния между линиями точек и между точками в линиях рулеткой, мерной линейкой или специальным мерником.

Отбойка отдельных кусков в пробу в забое производится зубилом и ручным молотком; для отбора кусков необходимой величины из навалов нередко также приходится пользоваться молотком. Обычно диаметр отдельных кусков 2—3 см, а вес — около 100 г.

Количество точек, из которых отбираются куски в пробу по забою или навалу рудной массы, должно быть минимальным при равномерном распределении полезного компонента в минеральном сырье (12—15) и увеличиваться при неравномерном распределении полезного компонента (до 50—100).

Точность точечного способа опробования в общем случае удовлетворительная. Достоинствами этого способа являются его сравнительная

простота, быстрота и дешевизна. При достаточном количестве точек этот способ обеспечивает объективность и надежность опробования.

Точечный способ применим в любых условиях, за исключением опробования маломощных (тонких) тел полезных ископаемых. Несмотря на положительную оценку этого способа, в практике он используется еще недостаточно широко. Поэтому до применения его для систематического опробования необходимо провести экспериментальные работы и сравнить данные этого метода и других методов опробования (валовым, задирковым, бороздовым) с целью подтверждения надежности результатов.

Затруднением при использовании данного способа обычно является определение количества отдельных кусочков, обеспечивающее достаточную точность и надежность среднего содержания полезного компонента по всем кусочкам (пробе), т. е. представительность пробы. Очевидно, этот вопрос может быть решен экспериментальным путем для каждого конкретного месторождения, исходя из общих принципов математической статистики, с использованием коэффициента вариации содержаний полезного компонента.

Способ вычерпывания применяется только для опробования навалов отбитой руды. Для этого, так же как при точечном способе, на навал, предварительно выровненный для уменьшения его высоты, набрасывают сетку и из центров ячеек ее отбирают частичные пробы определенного веса. В отличие от точечного способа эти частичные пробы отбираются в каждой клетке сетки до дна навала, а не по одному кусочку (рис. 13). При этом мелочь отбирается рукой, совком или лопатой, а от крупных глыб отбиваются небольшие куски. Сыпучие полезные ископаемые опробуются специальным щупом. Такой прием должен обеспечить равномерность опробования как мелкой фракции, так и глыб, что повышает точность опробования, если различные по крупности фракции материала имеют различную концентрацию полезного компонента.

Сетки могут быть квадратными или ромбическими. Размеры ячеек от 0,5 x 0,5 до 0,1 x 0,1 м и менее (для тонко измельченных проб в лабораториях).

Количество пунктов отбора частичных проб и их веса изменяются в зависимости от характера распределения полезного компонента и примерно должны составлять: а) при равномерном распределении полезного компонента 12—16 частичных проб, по 50 г каждая; б) при неравномерном распределении 20—25 частичных проб, по 100 г каждая; в) при весьма неравномерном распределении 35—50 частичных проб, по 200 г каждая. Этот способ, так же как и точечный, очень производительный и дешевый. Однако им можно опробовать только навалы, что исключает применение его для тел полезных ископаемых, мощность которых меньше ширины забоя, так как в этих случаях в отбитую массу попадают вмещающие породы, искажающие истинное содержание полезного компонента в минеральном сырье. Кроме того, отбор частичных проб в виде отдельных лунок до дна в крупноглыбовом и в сыпучем материале навала очень затруднителен.

В связи с отмеченными недостатками способ вычерпывания не нашел широкого применения. Обычно им пользуются при отборе навесок от измельченных проб — порошков в лабораториях.

ОПРОБОВАНИЕ ПО МИНЕРАЛЬНОМУ СОСТАВУ

При массовом опробовании в процессе эксплуатационных работ в ряде случаев успешно определяют содержания полезных компонентов в руде на основании ее минерального состава. Существует несколько приемов минералогического опробования, среди которых наиболее широко известны следующие: 1) опробование по типам руд; 2) опробование по шлиховым минералам; 3) люминесцентное опробование; 4) опробование по оценке площади рудных минералов в шлифах.

Опробование по типам руд. На ряде месторождений может быть выделено несколько естественных типов руд, отличающихся более или менее определенным минеральным, химическим составом и физическими свойствами, с устойчивым содержанием полезного компонента. В этих случаях для каждого типа руд подбираются эталонные коллекции штучков и устанавливается процентное соотношение главнейших рудных и нерудных минералов в них. Затем для каждого типа руд подбирают 30—50 зарисовок забоев с результатами химического опробования и рассчитывают среднее содержание полезных и вредных компонентов для каждого типа руд. Кроме содержаний полезного компонента для каждого типа руд определяют объемные веса.

Собственно опробование по типам руд заключается в тщательной зарисовке тела полезного ископаемого и документации забоев с выделением участков, сложенных различными типами руд (рис. 14). На основании зарисовок среднее содержание того или иного компонента по забою вычисляется методом среднего взвешенного на площадь S или мощность m по формулам, приведенным ниже.

Этот метод очень оперативен и позволяет резко сократить количество химических анализов.

Опробование по шлиховым минералам сводится к тому, что материал забойных проб, отбитый любым способом, дробится до размеров частиц ценного минерала и промывается в лотке до получения шлиха. Полученный шлик взвешивают, подвергают количественному минералогическому анализу и производят пересчет содержания ценного минерала.

ПРИЛОЖЕНИЕ

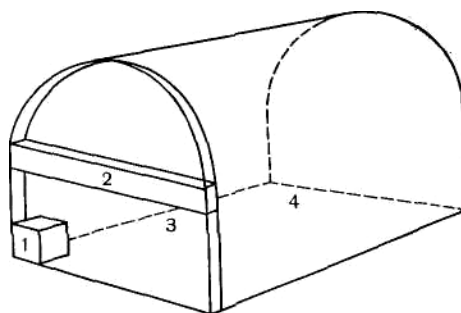


Рис. 1 Отбор проб в горных выработках:

1 – в точке; 2 – по линии; 3 – по плоскости; 4 – от всего объема проходки.

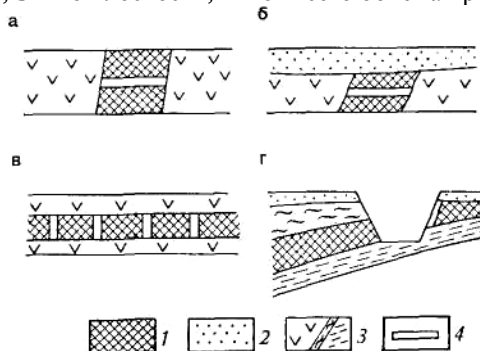


Рис. 2. Расположение бороздовых проб в каналах при вскрытии тела:

Вкрест простирания: а — по дну; б — по стенке; по простиранию: в — по дну; г — по стенке 1 — тело полезного ископаемого; 2 — наносы; 3 — вмещающие породы; 4 — бороздовые пробы

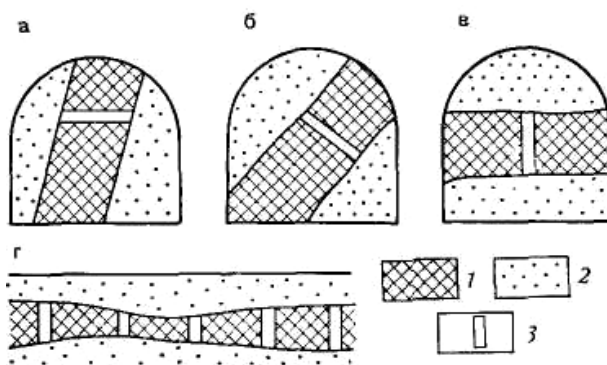


Рис. 3. Расположение бороздовых проб в горизонтальных выработках, прослеживающих тело по простиранию.

Отбор проб в забоях: а — при крутом залегании; б — то же при наклонном; в — то же, при горизонтальном; г — отбор проб по кровле или стенке выработки. 1 — тело полезного ископаемого; 2 — вмещающие породы; 3 — бороздовые пробы.

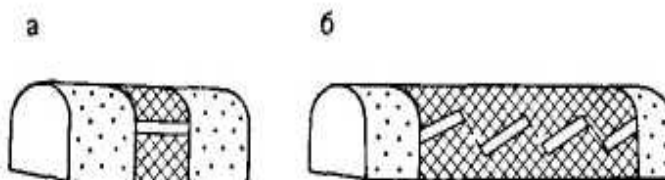


Рис. 4. Расположение бороздовых проб в горизонтальных выработках, пройденных вкрест простирания тела:

а — при малой мощности тела; б — при большой мощности тела, в — вертикально. Условные обозначения см. на рис. 3

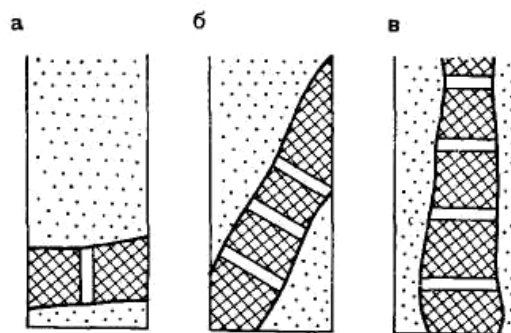


Рис. 5. Расположение бороздовых проб в вертикальных выработках, вскрывающих тело, залегающее:

а — горизонтально; б — наклонно; в — вертикально. Условные обозначения см. на рис. 3.

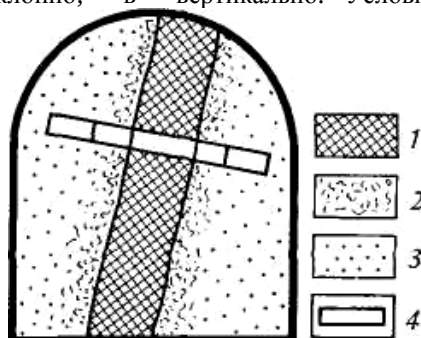


Рис. 6. Расположение бороздовых секционных проб

1 — сплошные сульфиды; 2 — прожилково-вкрапленные руды; 3 — вмещающие породы; 4 — бороздовые пробы.

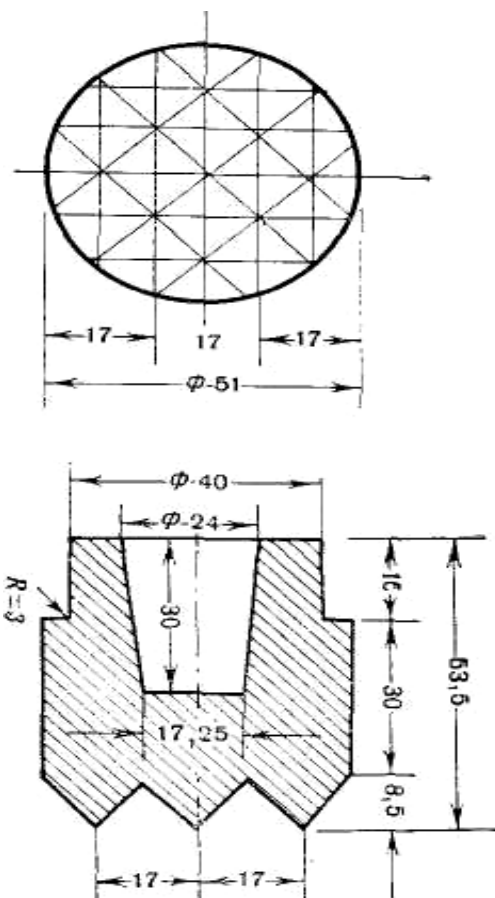


Рис. 7. Схема съемной пробоотборной коронки.

Табл.1

Технические характеристики пробоотборников ЦНИГРИ

Показатели	ПЭР-1	ППР-1
Параметры отбираемых проб:		
глубина, мм	До 60	До 60
ширина, мм	10—50	10—15
Привод	Электрический	Пневматический
Мощность привода, кВт	1,5	—
» », л. с.	—	2,0
Давление сжатого воздуха, атм	—	5
Число оборотов шпинделя, в мин	3000	4000—6000
Породообразующий инструмент	Алмазные отрезные круги типа АОК-200-1,	2-А25-50
Общий вес пробоотборника, кг	32,0	6,0
в том числе собственно пробоотборника ручной рабочей головки, кг	4,0	6,0

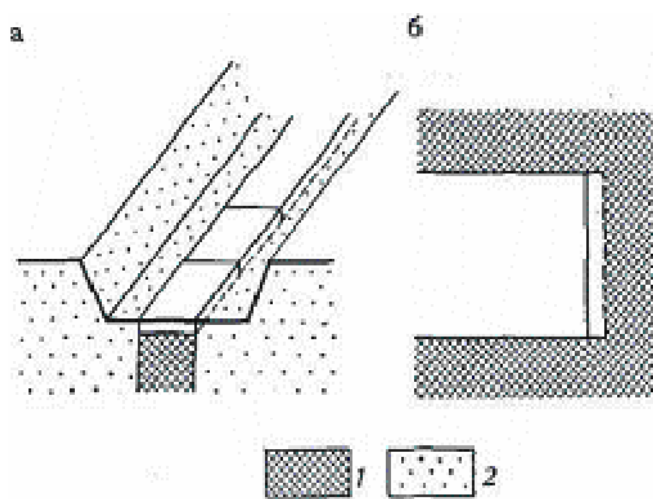


Рис. 8. Схема отбора задириковых проб:

а — в канаве; б — в забое горной выработки. 1 — тело полезного ископаемого; 2 — вмещающие породы.

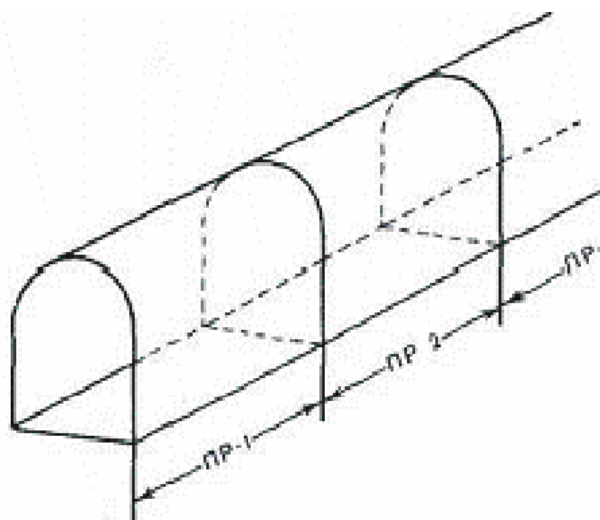


Рис. 9. Схема отбора валовых проб

а — в канаве; б — в забое горной выработки.

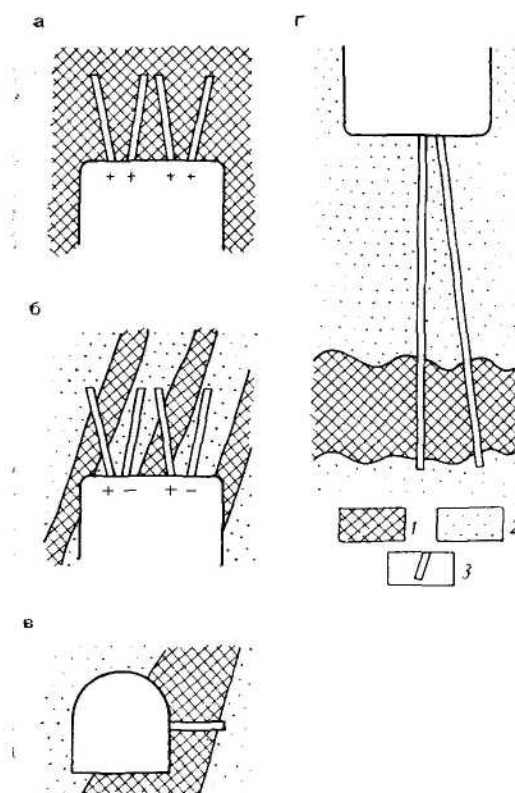


Рис. 10. Шпуровое опробование

a — использование шлама шпуров (+) при равномерном оруденении; *б* — использование шлама шпуров (+) при полосчатом оруденении; *в* — опробование с помощью шпура мощного тела, не полностью вскрытого горной выработкой; *г* — вскрытие и опробование тела, расположенного за пределами горной выработки. 1 — тело полезного ископаемого; 2 — вмещающие породы; 3 — шпуры

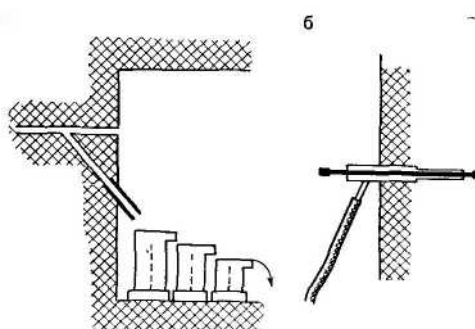


Рис. 11. Улавливание шлама и мути в отстойниках:

a — с помощью патрубка; *б* — с помощью тройника и шланга

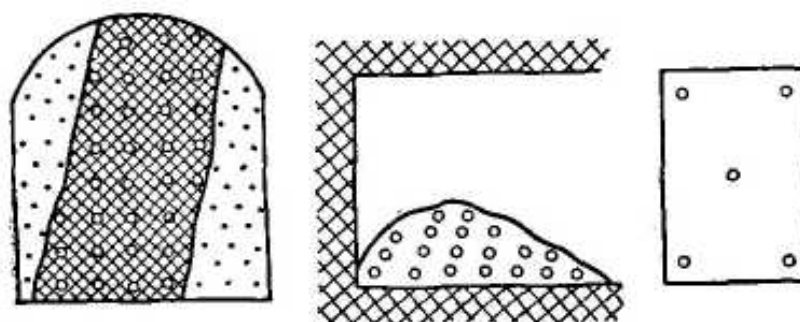


Рис. 12. Схема расположения точечных проб:

a — в забое по квадратной сетке; *б* — в навале отбитой руды; *в* — в вагонах конвертом.

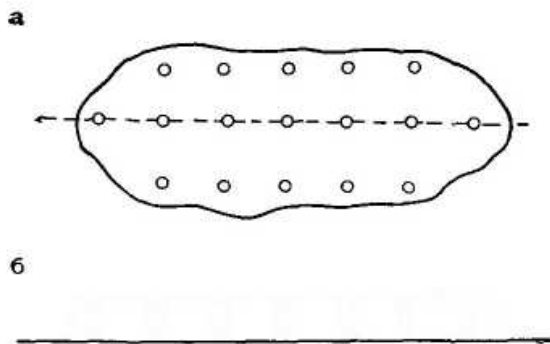


Рис. 13. Схема отбора частичных проб способом вычерпывания
 о — план навала руды; б — разрез навала руды.

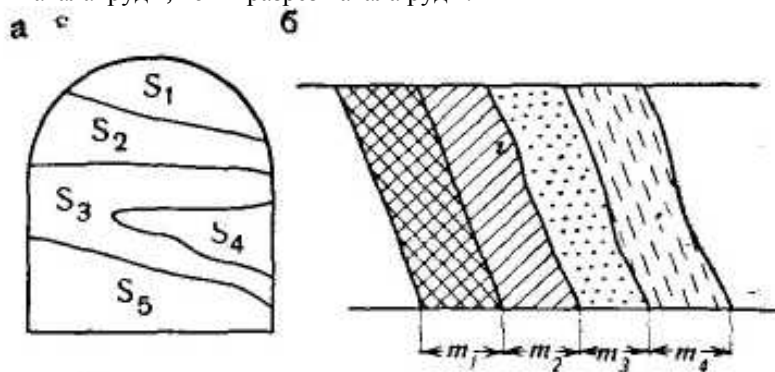


Рис. 14. Схема зарисовки забоя (а) и стенки (б) горной выработки при опробовании по типам руд
 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 — площади, занимаемые различными типами руд в забое; m_1, m_2, m_3, m_4 — мощности различных типов руд, вскрытых выработкой.

ОТБОР ПРОБ**1. ОТБОР ПРОБ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ НА РОССЫПЯХ**

Опробование россыпных месторождений отличается от опробования коренных месторождений тем, что отбираемые пробы представлены рыхлым материалом, определение содержания полезного минерала в котором осуществляется путем его промывки непосредственно на месте разведки. Для отбора проб в горных выработках при разведке россыпей используются три способа — валовый, вычерпывания и бороздовый.

При валовом способе опробования весь материал, получаемый при проходке горных выработок, поступает в пробу. Порода, добываемая с определенного интервала, складывается в отдельную кучу — выкид. Так, например, при углубке шурфа с интервалов 0,2—1 м порода выдается на поверхность и складывается в виде серии куч, располагающихся вокруг устья шурфа по часовой стрелке (рис. 1).

В начальную стадию разведки опробуются породы всего разреза, при этом опробованию должны подвергаться все литологические разновидности песков и рыхлых отложений — галечники, глины, пески и т. д. После того, как определится положение «пласта» («песков»), «торфов» и «плотика», верхняя часть наносов («торфа») может не опробоваться или опробоваться частично для контроля.

Величина интервалов опробования зависит от характера распределения полезных компонентов в россыпи, мощности ее и намечаемых способов разработки. При малой мощности «песков» и селективной их отработке интервалы отбора проб должны быть минимальными. При более или менее равномерном распределении полезного компонента по мощности и при отработке россыпи на массу (гидравлическая, дражная отработка) интервалы могут быть максимальными.

Россыпи золота обычно опробуются по интервалам 0,2 м, а россыпи титаномагнетита, ильменита, циркона, олова, вольфрама — по интервалам 0,5—1 м.

Способом вычерпывания отбор проб производится по интервалам проходки выработки и в промывку поступает не весь материал, а отбираемая часть его. Для этого кучу пробы (выкид) разваливают и выравнивают в плоский диск и из 4—5 точек ее отбирается, по возможности до нижней границы диска, материал объемом в одну ендовку. Ендовка — это деревянный ящик трапециевидного поперечного сечения размером вверху 60 X 30 см, внизу 50 X 20 см, высотой 17 см. Могут быть приняты и другие размеры, но так, чтобы с учетом разрыхления породы объем ее был бы равен $0,02 \text{ м}^3$, что необходимо для удобства последующего расчета содержаний полезных компонентов на 1 м^3 .

Отбор материала в ендовку из диска можно производить и другими способами, например бороздой (крестообразная борозда по диску), перемешиванием всего выкида методом кольца и конуса, квартованием, а также при перелопачивании кучи с отбором в пробу каждой 10-й или 15-й лопаты.

Бороздовые пробы отбираются по стенкам горных выработок. Рудоносные пласты в россыпных месторождениях залегают горизонтально, поэтому борозды располагаются всегда вертикально. В связи с необходимостью получения значительного количества материала для промывки, а также в связи с легкостью отбора проб в мягких и рыхлых породах поперечное сечение борозды принимается большим (20 X 10 см) с расчетом, чтобы материала пробы было достаточно для наполнения ендовки емкостью 0,02 м³.

При отборе бороздовых проб обязательно учитывается литологический состав и каждая разновидность рыхлых отложений опробуется отдельно.

2. ОТБОР ПРОБ ПРИ БУРЕНИИ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Отбор проб при бурении разведочных скважин имеет свои специфические особенности и трудности: стенки скважин недоступны для осмотра (за исключением скважин очень больших диаметров), повторный отбор проб крайне затруднен, количество материала, поступающего в пробы, ограничено.

Различные виды бурения также накладывают свои специфические особенности на отбор проб, поэтому целесообразно рассмотреть отдельно:

- 1) отбор проб при колонковом бурении;
- 2) отбор проб при бескерновом бурении: а) ударно-канатном, б) роторном;
- 3) отбор проб при ручном и механическом ударно-вращательном бурении: а) из скважин, пройденных по рыхлым, неустойчивым и сильно обводненным породам; б) из скважин, пройденных по рыхлым, сыпучим, но не обводненным породам; в) из скважин, пройденных по мягким и пластичным породам.

Отбор проб при колонковом бурении

При колонковом бурении материалом для проб могут служить керн, керн и шлам или только шлам, поднятый в шламовой трубе и вынесенный с забоя на поверхность промывочными водами или воздушной струей. Наиболее достоверные результаты опробования получаются при исследовании керна. Шлам используется как дополнительный материал в случае неполного выхода керна или при его избирательном выкрашивании (истирании).

Полнота выхода керна R обычно вычисляется в процентах линейным способом по формуле

$$R = \frac{l}{L} 100$$

где l — длина столбика керна, м;

L — длина пробуренного интервала, м.

Линейный способ определения выхода керна при бурении сильно трещиноватых пород и разрушенных руд обычно дает неточные — завышенные результаты. В этих условиях следует применять весовой способ определения выхода керна, т. е. сопоставлять вес поднятого керна с расчетным, определяемым исходя из диаметра буровой коронки, длины пробуренного интервала и объемного веса породы или руды. Особенно рекомендуется этот способ учета выхода керна при опробовании угольных месторождений.

Полнота выхода керна зависит от многих причин. В сильно трещиноватых, пористых, разрушенных, хрупких и рыхлых полезных ископаемых выход керна резко снижается, происходит интенсивное его истирание дробью и разрушение промывочными водами. Чем дольше находится керн в забое, тем меньше его сохранность.

Увеличение выхода керна может быть достигнуто при увеличении диаметра скважин, при переходе от дробового бурения на коронки, армированные твердыми сплавами или алмазами, а также при применении двойных колонковых труб.

Можно применять бурение всухую, что обеспечивает высокий выход керна при разведке марганцевых, бокситовых, силикатно-никелевых руд, осадочных месторождений железа, ископаемых углей. Однако при бурении этим способом нарушаются структура и текстура полезного ископаемого. Применение вместо промывки забоя скважины продувки сжатым воздухом нередко тоже увеличивает выход керна, производительность бурения и устойчивость стенок скважины. Сокращение длины рейса иногда увеличивает выход керна, но значительно снижает производительность бурения.

Если минералы, слагающие тело полезного ископаемого, имеют различные твердость и хрупкость, особенно при наличии неблагоприятных текстур (удлиненных, плосковытянутых), а также при наличии прожилков, пересекающих керн, то это снижает выход керна и способствует избирательному истиранию. Избирательное истирание установлено на многих месторождениях, например железорудных типа криворожских, колчеданно-полиметаллических, медно-молибденовых, молибденовых штоков-веркового типа, на некоторых оловорудных и особенно на ртутных и сурьмяно-ртутных, на месторождениях углей и др. На таких месторождениях целесообразно переходить на бурение алмазными коронками или коронками, армированными твердыми сплавами.

Необходимо избегать расхаживания снаряда, так как это увеличивает истирание керна и его потери. Технология бурения должна исключать самозаклинку керна, которая способствует его истиранию. При заклинке керна, особенно в начале рейса, следует произвести подъем снаряда.

При бурении растворимых солей следует применять в качестве промывочных вод рассолы того же состава. Однако состав таких рассолов всегда

несколько отличается от состава изучаемых солей, что приводит к избирательному растворению поверхности керна. Поэтому материал для пробы в таких случаях следует высверливать вдоль оси керна.

При удовлетворительном выходе керна (обычно 70%), если не происходит избирательного истирания, материалом пробы является одия керна. Он представляет ценность не только для химического, технического и минералогического опробования, но и для изучения строения тел полезных ископаемых, их минерального состава, структур и текстур. В пробу следует отбирать минимально необходимую часть керна. Керна все больше используется для отбора технологических проб, особенно на крупных погребенных месторождениях, а также при разведке глубоких горизонтов. На таких месторождениях проходка горных выработок для отбора технологических проб требует больших затрат и задерживает освоение месторождения. Кроме того, технологические пробы, отобранные из большого числа скважин, освещающих все месторождение, иногда более представительны по сравнению с пробой, отобранной из одной горной выработки.

Керна по полезному ископаемому измеряют, взвешивают, устанавливают его выход и производят геологическую документацию, намечают места отбора проб (в случае необходимости — секционных проб).

Отбор проб можно производить путем раскалывания керна ручным или гидравлическим керноколом вдоль его оси, а на границах намеченных проб — и перпендикулярно оси. Одна половина керна, как правило, поступает в химическую или минералогическую пробу, вторая раскалывается еще раз, после чего одна четвертая часть керна может быть использована для отбора технологической пробы, а другая часть является дубликатом и хранится в кернохранилище. Дубликат используется для изучения минерального состава или других свойств полезного ископаемого. Очень важно, чтобы мелочь, образующаяся при раскалывании керна, перемешивалась и делилась на равные части, относящиеся к пробе и к дубликату. Недостаточно аккуратное разделение керна на части может привести к обогащению или обеднению проб и существенному искажению результатов опробования.

Для раскалывания керна лучше применять гидравлические керно-колы, которые обеспечивают более высокую производительность отбора проб, точнее делят керна и меньше его крошат.

Лучшим способом отбора материала в пробу является распиловка керна, при этом для хранения срезается лишь сегмент, а весь остальной керна представляет собой материал пробы. Распиловка керна имеет ряд преимуществ: керна не дробится, обеспечивается отбор в пробу равных объемов материала с каждой единицы длины керна (если не наблюдается избирательного истирания). Изучение плоскости распила значительно улучшает качество геологической документации. Смачивание поверхности распила глицерином облегчает диагностику минералов, изучение текстур и структур руд. При большой производительности распиловки керна и высоком линейном выходе его можно получить представительную пробу

даже при избирательном истирании. Для этого из керна надо вырезать брус или параллелепипед, который будет представлять материал пробы. Распиловка керна обеспечивает более высокую представительность опробования по сравнению с раскалыванием.

Использование шлама для опробования при колонковом бурении не дает надежных результатов по ряду причин: шлам нередко разубоживается вышележащими породами или засоряется рудой, загрязняется промывочной жидкостью (глинистым раствором), часть шлама теряется в трещиноватых рудах, при подъеме шлама происходит оседание с отставанием более плотных частиц изометрической формы. Кроме того, благородные металлы и сульфиды хорошо флорируются органическими маслами, а молибден, антимонит и самородная сера — даже водой, в результате чего часть ценных минералов вместе с промывочными водами уходит в свободный слив или попадает обратно в скважину. При бурении дробью шлам сильно засоряется железом и фосфором, что делает его непригодным для опробования железорудных месторождений. Оценка качества минерального сырья на основании только шлама колонкового бурения недопустима. Поэтому следует отказываться от использования шлама и применять все меры к повышению выхода керна.

При систематических потерях керна пользуются для опробования стреляющими грунтоносами различных систем. Если потери керна характерны только для единичных скважин, для опробования производят повторную перебурку залежи, используя искусственное искривление скважин.

В литературе приводятся сведения о том, что при совместном опробовании керна и шлама иногда получают достоверные результаты даже при наличии избирательного истирания (например, колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая и ртутные месторождения Никитовского рудного поля). В тех случаях, когда необходимо опробование шлама, принимают меры к его полному улавливанию: томпонируют трещины в породах, крепят перекрывающие руду породы обсадными трубами, при бурении дробью применяют шламовые трубы, для трущихся частей станка, шланг применяют графитовую смазку, после каждого рейса скважину промывают до появления осветленной воды, исключают глинистую промывку, если в полезном ископаемом содержится тонкий материал, при использовании глинистой промывки собранный шлам подвергают отмучиванию в ковше или ведре или в специальном приборе, создают условия для полной отсадки буровой мути в желобах и отстойных баках. КERN и шлам (вместе с буровой мутью) в пределах интервала опробования отбирают в отдельные пробы. Среднее содержание компонентов по керну и шламу рассчитывают по формуле

$$C = C_k \frac{l}{L} g \frac{d^2}{D^2} + C_m (1 - \frac{l}{L} g \frac{d^2}{D^2}),$$

где C — среднее содержание компонента в пробуренном интервале; C_k — содержание компонента в кернах; C_m — содержание

компонента в шламе и буровой мути; D — диаметр скважины, мм; d — диаметр керна, мм; L — длина пробуренного интервала; l — длина керна.

При низком выходе керна и использовании для опробования шлама большие затруднения возникают при геологической документации керна и при отборе секционных проб (нарушенность керна, привязка шлама к тому или иному интервалу). Поэтому при отборе секционных проб в этих условиях необходимо использовать результаты каротажа скважин. Во многих случаях картаж скважин позволяет: 1) определить положение залежей полезного ископаемого, достаточно точно установить границы залежей при четких геологических контактах; 2) выяснить строение залежей; 3) выяснить особенности минерального состава; 4) установить концентрацию минералов или металлов в залежах полезных ископаемых и закономерности их распределения.

Если содержание полезного компонента в залежи изменяется постепенно в направлении вмещающих пород и четкие геологические контакты отсутствуют, то границы промышленных руд могут быть установлены только по данным секционного опробования.

Отбор проб при бескерновом бурении

Ударно-канатное бурение широко применяется для разведки крупных тел полезных ископаемых штокверкового типа, оловорудных, вольфрамовых, прожилково-вкрапленных медно-молибденовых и молибденовых месторождений, скарновых месторождений (особенно магнетитовых) и др., а также при открытых разработках полезных ископаемых (буровзрывные скважины). Бурение производится сплошным забоем, в процессе которого получается относительно тонко измельченный материал, обычно в виде шлама.

В этих условиях правильный отбор проб зависит от полноты поднятия шлама с каждого пробуренного интервала отдельно и крепления скважин с целью изоляции тела полезного ископаемого от перекрывающих его пород. При опробовании залежей большой мощности нередко приходится крепить скважину по интервалам отдельных промышленных сортов полезного ископаемого, так как в противном случае происходит осыпание вышележащих пород или руд. Крепление необходимо и на участках с открытыми трещинами, что также способствует более полному извлечению шлама.

В связи с возможным обрушением стенок скважин, а также с потерей шлама в процессе бурения и транспортировки следует систематически контролировать объем поднятого материала теоретическими расчетами объема. Результаты контроля фиксируются в специальном журнале.

Механическое ударно-канатное бурение характеризуется относительно высокой производительностью и обычно большими диаметрами (до 600 мм). С каждого пробуренного метра получают большое количество (от 45 до 222

кг и более) довольно тонкого и хорошо смешанного материала, что обеспечивает представительность опробования и возможность сокращения материала.

После долочения при механическом ударном бурении производят чистку скважины — желонение, при этом наиболее полное удаление шлама с забоя обеспечивается при использовании поршневой желонки. Удаление шлама производят до осветления воды.

Поднятый шлам поступает в приемный желоб, с которого сливается в бак размером 0,5 X 0,7 X 0,4 м, изготовленный из досок толщиной 5 мм или из котельного железа (листового). Иногда желонку разгружают и обмывают непосредственно в баке. Материал в баке перемешивается и сокращается вычерпыванием по способу конверта при помощи ручного пробоотборника.

Сокращенную пробу помещают в ведро или другой сосуд, после отсадки шлама воду сливают, а шлам просушивают на солнце или в печной бане. Оставшийся после сокращения в баке шлам выгружают в отвал, наиболее крупные куски руды отбирают для микро- и макроскопических исследований, бак тщательно промывают. Весь процесс отбора пробы из бака занимает 3—5 мин.

При механическом ударном бурении наиболее трудной задачей является отбор секционных проб, отражающих строение залежей. Для этих целей необходимо использовать комплексный каротаж скважин и косвенные признаки — скорость бурения в зависимости от различной крепости пород и руд, окраску шлама или буровой мути. Для отбора секционных проб используют и спектральные, минералогические и химические экспресс-анализы. Однако все эти приемы отбора секционных проб часто все же не обеспечивают точного определения границ рудных тел, природных типов руд и промышленных сортов минерального сырья.

При роторном бурении сплошным забоем шлам вместе с промывочными водами собирают в специальные отстойки, где его по отдельным интервалам смешивают и сокращают. Отбор проб можно осуществлять различными пробоотборниками — грунтоносами.

Серьезным недостатком данного опробования, особенно при глубоких скважинах, является отставание тяжелых частиц от легких при их выносе на поверхность, что создает большие трудности в привязке полученного шлама к тому или иному интервалу проходки и несоответствие состава шлама пройденному интервалу по скважине. Этот недостаток ограничивает применение роторного бурения сплошным забоем для разведочных целей.

Отбор проб при ручном и механическом ударно-вращательном бурении

Ударно-вращательное бурение применяется при разведке неглубоко и горизонтально залегающих тел полезных ископаемых, при условии, если полезное ископаемое и разрез пород, в котором оно располагается, представлены относительно рыхлыми или мягкими образованиями.

Отбор проб из скважин, пройденных по рыхлым, неустойчивым и сильно обводненным породам и полезным ископаемым. Проходка скважин и успешный отбор проб для этих условий обычно возможны только при опережении забоя обсадными трубами. Глубина опережения определяется крупностью рыхлого материала и насыщенностью его водой. Бурение и удаление материала из скважины производится желонкой (шариковой, тарелочной или поршневой), которая не должна доводиться до башмака обсадных труб на 10—15 см. Рыхлый материал, поднятый желонкой, сливают в мерную трубу или в мерный ящик, где он отстаивается и уплотняется. Установленный фактический объем материала сопоставляют с теоретическим, определяемым путем замера уходки до и после желонения с учетом внутреннего диаметра обсадных труб. Фактический объем выжелоненного материала может быть больше или меньше теоретического, при расчете же содержания полезного компонента учитывается больший объем.

При опробовании рыхлых образований, в частности россыпей, отбирают секционные пробы, которые дают возможность установить мощность «пласта» и перекрывающих «торфов», а также контур залежей с промышленным содержанием полезного компонента.

В период предварительной разведки необходимо изучить особенности распределения ценных минералов по мощности залежи (по вертикали), поэтому целесообразно длину секций принимать минимальной: для россыпей золота и платины 0,2 м, а для россыпей касситерита, вольфрамит, шеелита, монацита, ильменита и др. — 0,5—1,0 м. В период детальной и особенно эксплуатационной разведки длину отдельных проб можно увеличивать, например, для золотоносных россыпей в пределах пласта до 0,5 м, а для касситерита и других минералов до 1—2 м. В пределах торфов длина проб может быть увеличена до 2—4 м.

Кроме рыхлых отложений необходимо опробовать и плотик. Количество проб, отбираемых из плотика, зависит от степени его разрушенности и глубины проникновения минералов тяжелой фракции в плотик.

При опробовании россыпей, пригодных для отдельной добычи, длина проб на участке ожидаемой границы между пластом и торфами, должна составлять 0,2—0,5 м. Если пласт хорошо выделяется макроскопически, то длина проб может быть увеличена до мощности пласта. Торфа, практически не содержащие ценных компонентов, систематически не опробуются. С целью контроля часть выработок (через одну или две разведочные линии) подвергается опробованию в пределах всей мощности рыхлых отложений.

Опробование россыпей, вскрытых буровыми скважинами, обычно сопровождается возникновением заметных погрешностей, при этом характерно систематическое занижение содержаний полезного компонента. Например, при отработке золотоносных россыпей количество фактически получаемого золота больше по сравнению с предварительными данными

разведки на 20—50% (а иногда и больше), а коэффициент намыва при эксплуатации составляет 1,2—1,5 и выше.

Неточность опробования зависит от совокупности ряда особенностей россыпных месторождений, в частности от обводненности рыхлых отложений, большого различия в плотности рудных и нерудных минералов, неравномерности распределения ценных минералов, низкого их содержания, наличия в россыпях самородков металлов, плохой отсортированности осадков и значительной валунистости, наличия многолетней мерзлоты и др. Обсадка скважин и долочение крупных валунов сопровождаются сотрясением рыхлого материала и перемещением вниз тяжелых частиц, вследствие чего иногда мощность пласта уменьшается. Применение желонки любых конструкций не обеспечивает поднятия всех тяжелых частиц с плотика. Кроме того, часть тяжелых частиц по трещинам проникает в глубь плотика. Все эти факторы приводят к систематическому занижению содержания полезного компонента при разведке россыпей скважинами.

Погрешность опробования нередко вызывается искажением объемов отбираемых проб — часть рыхлого материала при долочении может отжиматься в затрубное пространство, а в сильно обводненных отложениях, наоборот, поступать в скважину из затрубного пространства, что искажает содержание полезного компонента.

В связи с недостаточно надежными данными буровой разведки россыпей результаты опробования буровых скважин требуют систематического контроля путем проходки и опробования сопряженных со скважинами контрольных горных выработок (шурфов), которые позволяют установить поправочный коэффициент, обычно превышающий единицу.

Отбор проб из скважин, пройденных по рыхлым, сыпучим, но не обводненным породам. При бурении и опробовании кварцевых, стекольных, формовочных и строительных песков, суглинков, иногда диатомита, трепела и других сыпучих сухих и влажных, но не обводненных полезных ископаемых, в качестве рабочего наконечника применяют ложку. Достоверность опробования обеспечивается при условии, если обсадные трубы опережают забой скважины. Поднятый буровой ложкой материал высыпается на деревянный щит размером 1—1,5 м, имеющий с трех сторон невысокие борта. После просмотра и документации материал объединяется в пробу с нескольких забурок. Длина пробы зависит от строения залежи, обычно равна 0,5—2,0 м. В рассматриваемых условиях для отбора проб нередко используют грунтоносы.

Отбор проб из скважин, пройденных по мягким и пластичным породам. При бурении и опробовании каолинов, различных глин и глиноподобных материалов, некоторых адсорбентов, а иногда и силикатно-никелевых руд в качестве бурового наконечника применяют змеевики (ручное бурение) и шнеки (механическое бурение). Материал уходки удерживается на лопастях змеевика или шнека. За одну уходку змеевиком углубляются на 30—40 см, а шнеком — на 1,3—1,5 м. При подъеме

материал, находящийся на лопастях змеевика и шнека, в результате трения о стенки скважины загрязняется вышележащими породами. Поднятый на поверхность материал необходимо очистить от загрязнения. После этого его просматривают и документируют. В зависимости от мощности и строения залежи отбираются секционные пробы, причем длина секций обычно колеблется от 0,5 до 2 м и более. Отбор проб может осуществляться и различными грунтоносами.

Независимо от вида бурения каждую пробу из буровой скважины тщательно упаковывают в пакет или мешочек и снабжают подробной этикеткой с указанием номера скважины и интервала опробования. Все пробы регистрируются в специальном журнале.

ЛЕКЦИЯ 27

ОБРАБОТКА И СОКРАЩЕНИЕ ПРОБ

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ПРОБ

Начальные веса проб, особенно для химических исследований, обычно превышают веса навесок, направляемых в лаборатории на анализ. Поэтому для получения конечных проб, отправляемых на исследования, начальные пробы сокращаются по их весу. Сокращение начальных весов проб до конечных должно быть выполнено так, чтобы содержание металла (или минерала) в конечной, уменьшенной пробе было равно содержанию его в начальной пробе — конечная проба должна быть представительной. Это достигается сообщением пробе равномерности содержания металла в ней путем ее измельчения и тщательного перемешивания. Раздробленная и перемешанная проба может быть сокращена сразу в один прием до конечного веса или в несколько приемов. Чаще сокращение осуществляется в несколько приемов. В этом случае материал пробы дробится до определенного размера кусков и сокращается, затем сокращенная часть вновь дробится до меньших размеров кусков и вновь сокращается и т. д. до конечного веса пробы. Размер кусков пробы, при котором возможно ее сокращение, контролируется просеиванием на ситах. Все операции по дроблению, просеиванию и сокращению материала проб производят в определенной последовательности по заранее составленной схеме.

Многочисленные теоретические исследования всех стадий и операций обработки первичных проб и сравнение результатов фактических анализов первичных, промежуточных и конечных проб позволили исследователям установить зависимость между весом пробы (в кг) и диаметром наибольших ее частиц, при которой сохраняется представительность пробы. Такая зависимость определяется следующей формулой:

$$Q = Kd^2,$$

где Q — вес пробы, кг;

d — диаметр наибольших частиц, мм;

K — коэффициент, характеризующий степень равномерности распределения полезного компонента в руде.

Эта формула в начале XX в. была одновременно предложена ленинградским профессором Г. О. Чечоттом и Р. Ричардсом (США), поэтому в литературе она известна под названием формулы Ричардса — Чечотта.

Первоначально коэффициент K по рекомендации Чечотта в зависимости от равномерности распределения полезного компонента в руде принимался равным от 1 до 20. Позднейшие исследования в области опробования полезных ископаемых позволили, не изменяя формулы, резко сократить значения K .

Таким образом, для обработки и сокращения проб необходимо следующее:

- 1) подобрать коэффициент K , обеспечивающий правильное сокращение начальных весов проб и представительность конечного веса пробы, отбираемой для лабораторных анализов;
- 2) произвести измельчение материала пробы (дробление);
- 3) произвести проверку полноты измельчения всего материала с тем, чтобы не осталось частиц крупнее заданного диаметра — эта операция называется грохочением (просеивание);
- 4) перемешать весь измельченный материал, обеспечив равномерное распределение полезных компонентов;
- 5) сократить первоначальный вес пробы до конечного — заданного, обеспечив представительность конечной пробы (навески);
- 6) составить общую схему обработки и сокращения проб.

Выбор коэффициента K

Степень неравномерности распределения полезного компонента в минеральном сырье можно определить следующими способами:

а) геологическим путем при тщательном осмотре выработок, кернов скважин и естественных выходов (обнажений) с их геологической документацией и изучением минерального состава, структуры и текстуры руд и полезных ископаемых. Например, сплошные хромистые железяки и однородные пласты солей могут быть отнесены к равномерным типам полезных ископаемых, а неравномерно вкрапленные и прожилковые руды золота или ртути должны быть охарактеризованы как весьма неравномерные. Однако такое визуальное определение весьма неточно и обычно используется как ориентировочное в начальной стадии изучения месторождения, когда многие показатели принимаются по аналогии;

б) математически, выражена числовым показателем на основании обработки результатов химических анализов проб. Этот способ дает наиболее надежные результаты и чаще всего используется при разведке месторождений. Для этих целей вычисляется коэффициент вариации содержания полезного компонента.

Коэффициент вариации представляет собой относительную величину среднего квадратического отклонения индивидуальных измерений (в данном

случае проб) от величины среднего значения признака (в нашем случае среднего содержания полезного компонента). Для вычисления коэффициента лучше всего пользоваться табл. 2.

Среднее арифметическое содержание компонента C_{cp} рассчитывается по формуле

$$C_{cp} = \frac{\sum C_i}{n} = \frac{84,6}{24} = 3,5,$$

где n — количество проб.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{160,38}{23}} = \pm 2,6.$$

Коэффициент вариации содержания полезного компонента

$$V = \frac{\sigma \cdot 100}{C_{cp}} = \frac{2,6 \cdot 100}{3,5} = 74\%.$$

Чем выше коэффициент вариации, тем значительнее изменчивость полезного ископаемого. При выборе коэффициента следует использовать оба способа, взаимно контролируя их. Нередко геологические наблюдения с учетом аналогии с детально исследованными месторождениями дают возможность достаточно точно определить равномерность руд и подобрать соответствующее значение для коэффициента K . Это особенно важно на первых этапах изучения месторождений, когда фактических материалов, относящихся к данному месторождению, еще мало и коэффициент вариации с достаточной точностью не может быть рассчитан.

2. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ (ДРОБЛЕНИЕ) МАТЕРИАЛА ПРОБ

Обычно выделяют четыре вида дробления: крупное, среднее, мелкое и тонкое. Такое подразделение вызвано применением различных способов и механизмов для измельчения материала проб, отличающихся по степени измельчения. Степень измельчения определяется отношением конечного диаметра раздробленного материала к начальному диаметру до дробления.

Конечные диаметры частиц при дроблении, характерные для каждого из видов дробления, степень измельчения и основные способы дробления приведены в табл. 3.

Крупное дробление производится вручную молотками или чаще щековыми (челюстными) дробилками разных размеров с механическим приводом (рис. 2).

Щековая дробилка состоит из двух щек. Одна щека неподвижно закреплена в установке, другая расположена на шарнире и может при колебательном движении приближаться и отдаляться от неподвижной щеки. Подвижная щека на дробилке «Блек» приводится в движение эксцентричным

валом с двумя рычагами и пружинной тягой, которая возвращает щеку в исходное положение после рабочего хода. Размеры материала, выходящего из дробилки, зависят от ширины щели между щеками. Степень измельчения обычно составляет от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{4}$, редко больше. Размер щели регулируется вкладышами в виде клиньев. Максимальный диаметр раздробленных частиц 100—30 мм.

Среднее дробление осуществляется на малых щековых дробилках (аналогичных описанному выше) или на механических дробильных валках. Реже применяются ручное дробление молотками и крупные (большие) ступы. При работе в больших ступах пест подвешивается на гибкий балансир, что облегчает работу.

Дробильные валки в виде коротких тяжелых цилиндров с насаженными на них бандажами из специальной стали расположены на горизонтальных осях рядом друг с другом; расстояние между валками (щель) определяет максимальный диаметр раздробленного материала, выходящего из валков. Степень измельчения от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{6}$. Конечный максимальный диаметр раздробленных частиц 20—5 мм.

Мелкое дробление производят на малых валках, в ступах и на растирателях. По своей конструкции малые валки аналогичны описанному выше и, как правило, работают от механического привода. Работа на ступах и растирателях производится вручную.

Ручной растиратель представляет собой массивный башмак (молоток) с выгнутым основанием в виде пресс-папье, насаженным на рукоятку. При движении такого башмака (вес его достигает 5—6 кг) по металлической доске, на которую насыпают материал пробы, можно производить дробление — растирание этого материала. Доска имеет бортики, предохраняющие материал пробы от рассыпания.

Иногда для мелкого дробления используют механические бегуны, представляющие собой короткие цилиндры, вращающиеся на осях, которые катятся по дорожке (по кругу) и дробят материал, насыпаемый на дорожку. Бегунная установка ввиду большой тяжести бегунов обычно используется в заводских условиях и очень редко при разведке месторождений.

Степень измельчения при мелком дроблении от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{6}$. Конечный диаметр максимальных частиц 2—0,7 мм.

Тонкое дробление достигается в шаровых (стержневых) мельницах на дисковых растирателях, реже вручную в агатовых, фарфоровых, стальных ступах и на ручных растирателях.

Дисковые истиратели могут быть вертикальные и горизонтальные. Руда измельчается между двумя дисками, один из которых укреплен в передней стенке рабочей камеры и является неподвижным, а другой, вращающийся диск установлен на горизонтальном валу, снабженном рабочим и холостыми шкивами. Подлежащий измельчению материал поступает через воронку в рабочее пространство между дисками (в центре); далее материал увлекается силой тяжести и центробежной силой по

радиальным каналам к периферии дисков, измельчается и разгружается через нижнее отверстие в находящийся под аппаратом приемник. Тонкость измельчения регулируется установочным винтом. Подъемная крышка кожуха и откидывающийся на шарнире неподвижный диск дают свободный доступ ко всем частям аппарата для чистки и ремонта. Конечный максимальный диаметр частиц от 0,1 до 0,15 мм.

Контроль измельчения

Проверка (контроль) полноты измельчения при диаметре частиц более 2,5 мм осуществляется грохочением или просеиванием. Механическое грохочение производится на подвижных, качающихся грохотах с колосниковой решеткой (продольные отверстия) или сеткой, которые натягиваются на деревянную или металлическую раму. Грохот для крупного материала устанавливается обычно под большим углом (40—50°), а для мелкого — под пологим углом (10—20°).

Примером механического грохота может служить грохот типа Феррариса. Этот грохот представляет собой железную или деревянную раму, перекрытую проволочной или штампованной сеткой с соответствующими отверстиями. Рама устанавливается на качающихся опорах и соединена тягой с эксцентриком, делающим 200—350 об/мин. При каждом обороте эксцентрика грохоту сообщается энергичное встряхивание, в результате чего просеиваемый материал проходит через отверстия, передвигается вперед и высыпается через выпускной желоб.

Ручные грохота обычно с проволочной сеткой, натянутой на деревянную раму, приводятся в качательное движение ручным способом. Для этого удобнее всего подвесить грохот на веревках к небольшим козлам, и тогда один рабочий легко приводит его в качательное движение. Пользуются также и грохотом, у которого рама имеет рукоятки (в виде носилок). Тогда двое рабочих держат грохот на руках и покачивают его в горизонтальном и вертикальном направлениях. Эта работа более утомительна, чем при использовании подвесного грохота.

Сухой и легко рассыпающийся материал можно классифицировать и на неподвижных грохотах, устанавливаемых под углом 20—40°. В этом случае раздробленную породу бросают на верхнюю часть грохота, мелкий материал, двигаясь вниз, успевает пройти через сетку.

Размер сеток (ширина ячеек), или расстояния между продольными колосниками, т. е. щели грохота, определяются требуемой степенью измельчения.

Просеивание мелкого материала с частицами менее 2,5 мм ведется на ситах. Размеры отверстий в ситах могут определяться: 1) их шириной (диаметром); 2) числом отверстий (от 3 до 200) на линейный дюйм (число отверстий на один дюйм называется «меш»), или числом отверстий на 1 см². В настоящее время у нас изготавливаются сита до 4500 и даже 10 000 отверстий на 1 см².

Сита с различными отверстиями могут ставиться одно над другим, образуя стопку, где просеивание будет вестись одновременно через несколько сит. Такое просеивание может производиться ручным и механическим способами. Механическая установка с несколькими встряхивающимися ситами носит название «Ратап».

3. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Перемешивание раздробленного материала проб можно производить перелопачиванием, когда с помощью лопат материал перебрасывается из одной кучи в другую. Чаще перемешивание производят способом «кольца и конуса». В этом случае материал сначала набрасывают лопатами в виде конуса, а затем конус разворачивают на кольцо с помощью короткой широкой доски, которая погружается через центр конуса и затем поворачивается на полный круг (рис. 3).

Небольшие порции хорошо смешиваются на холсте размером (1— 1,5) X (0,5—0,7) м, концы (углы) которого берут в руки двое рабочих поочередно поднимают и опускают их, благодаря чему материал перекатывается и перемешивается.

4. СОКРАЩЕНИЕ

Сокращение раздробленного и перемешанного материала пробы должно контролироваться формулой $Q = Kd^2$, согласно которой вес сокращенной части пробы (в кг) не должен быть меньше Q . Например, проба весом 40 кг, раздробленная до максимального диаметра частиц 6 мм, при $K = 0,5$ может быть сокращена только один раз (пополам) до 20 кг; повторное сокращение приведет к тому, что вес сокращенной части окажется равным 10 кг, т. е. менее 18 кг, предусмотренных формулой, что является недопустимым.

Любые порции материала можно сокращать методом квартования. При квартовании материал пробы рассыпается в виде усеченного конуса (диска) с небольшой высотой (0,1—0,2 м), а затем с помощью доски или лопаты делится на четыре примерно равных сектора (для небольших порций используется специально изготавливаемая крестовина). Два противоположных сектора берутся в одну часть, а два других — в другую. Обе части считаются однозначными (равноценными), и одну часть удаляют. Таким образом, при каждом отдельном квартовании проба сокращается в два раза. Небольшие количества материала можно квартовать на ящичных и конусных делителях. Ящичные делители («Джонса») состоят из нескольких пар небольших ящичков; в каждой паре ящичков нижние отверстия открыты в противоположные стороны (рис. 4, А). Если с широкой лопаты сыпать сверху раздробленный материал в делитель, а внизу поставить сборный ящик, разделенный продольной перегородкой на две части, то половина материала поступит в одно отделение (часть I), а половина — в другое отделение (часть II), как показано на рис. 4.

В лабораториях часто пользуются конусными делителями (см. рис. 4, В). Каждый конус в делителе разделен на четыре сектора, из которых два противоположных открытые, а два закрытые. Если конус привести в движение вокруг оси и равномерно ссыпать сверху материал, то последний поступит в секторы примерно в равном количествен одна половина его просыплется вниз, а другая останется в двух конусах. Обычно несколько конусов располагают один над другим по оси делителя и при работе сразу получается несколько последовательных делений (сокращений). Такое сочетание нескольких конусных делителей ускоряет и уточняет работу по сокращению небольших проб.

5. СОСТАВЛЕНИЕ ОБЩЕЙ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ПРОБ

Все описанные выше процессы, необходимые для сокращения первичных проб (дробление, просеивание, смешивание и собственно сокращение), должны быть увязаны в одну общую схему, которую обычно изображают в виде графика. В этой схеме указывают рациональную смену диаметров максимальных частиц, последовательность дробильных установок, способы просеивания и сокращения материала пробы.

При составлении схемы последовательно решают следующие вопросы.

1. Возможность сокращения данной пробы без дробления при определенном весе Q , установленном коэффициенте K и наибольшем диаметре частиц d . Такое сокращение возможно, если $Q = 2Kd^2$.

2. Определение веса конечной пробы (сокращенной) $Q_{\text{кон}}$ и максимального размера кусков в ней $d_{\text{кон}}$.

3. Соотношение конечного $d_{\text{кон}}$ и начального $d_{\text{нач}}$ диаметров наибольших частиц в пробе покажет общую степень измельчения и даст возможность путем разложения этого соотношения на множители наметить стадии дробления материала пробы.

4. Определяют промежуточные веса проб $Q_{\text{пр}}$ после каждой стадии дробления, до которых данная проба может быть сокращена.

Исходный наибольший диаметр частиц пробы и намеченные стадии дробления позволяют определить виды дробления, подобрать для дробления оборудование, наметить диаметры сит для контрольного грохочения и установить схему смешения и сокращения в каждой стадии. Контрольные грохота, или сита, следует ставить до дробления, чтобы не дробить лишнего материала, а также после дробления, чтобы случайно не попали крупные куски.

При сокращении в последнюю стадию следует взять одну половину расквартованного материала пробы в качестве лабораторной (основной) пробы, а другую сохранить как дубликат.

Составление схемы обработки и сокращения проб лучше всего видно на разборе конкретного примера.

Дана проба весом ($Q_{\text{нач}} = 500$ кг с диаметром наибольших частиц $d_{\text{нач}} = 20$ мм. Требуется сократить данную пробу, отправляемую в лабораторию, до размеров химической пробы (вес конечной пробы ($Q_{\text{кон}} = 0,5$ кг).

Для руд с весьма неравномерным распределением полезного компонента коэффициент K принимается равным 0,5.

Предварительно решаем следующие вопросы в последовательности, указанной выше:

1. Определяем возможность сокращения пробы без дробления. $Q_{\text{нач}}$ должно быть больше или равно $2Kd^2$. Подставляя известные величины, получаем: $500 > 2 \cdot 0,5 \cdot 400$, следовательно, сокращение возможно.

2. Определяем конечный диаметр дробления для химической пробы $Q_{\text{кон}} = Kd_{\text{кон}}^2$; $0,5 = 0,5 \cdot d_{\text{кон}}^2$; $d_{\text{кон}} = 1$ мм. Рассчитываем степень измельчения и намечаем стадии дроблений

$$\frac{d_{\text{кон}}}{d_{\text{нач}}} = \frac{1}{20} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5}.$$

Следовательно, намечаются две стадии дробления:

$$I = \frac{1}{4} \text{ и } II = \frac{1}{5}.$$

После первой стадии дробления наибольший диаметр частиц d будет равен $20 \cdot 0,25 = 5$ мм, а после второй -- $d_{\text{кон}} = 5 \cdot 0,2 = 1$ мм.

4. После первого сокращения пробы до дробления промежуточный вес ее будет $Q'_{\text{пр}} = 250$ кг; после первой стадии дробления промежуточный вес пробы составит: $Q''_{\text{пр}} = Kd_1^2 = 0,5 \cdot 25 = 12,5$ кг.

После получения предварительных расчетных величин нетрудно составить общую схему обработки и сокращения пробы, которая приведена на рис. 5.

При большом количестве химических проб, особенно при эксплуатационном опробовании на крупных рудниках (Тырны-Ауз и др.), для обработки проб используют специальные комбинированные механизмы, включающие крупное, среднее и мелкое дробление. Материал пробы загружают в щековую дробилку и вся проба автоматически передается на другие механизмы. Весь материал пробы измельчается без сокращения до диаметра 0,5—1 мм. При обычных пробах весом 15—25 кг такая обработка оказывается экономически выгодней.

Следует иметь в виду, что после обработки каждой пробы все оборудование (дробилки, валки, истиратели) следует тщательно очищать, так как возможно засорение последующей пробы материалом, оставшимся от предыдущей пробы, что может исказить результаты опробования.

Часто, особенно в полевых условиях, пробы для химических анализов измельчают до конечного диаметра частиц 1 мм, как принято в приведенном выше примере. В этих случаях очень важно проследить и проверить, чтобы химическая лаборатория при доведении пробы до навески для химического анализа пользовалась для сокращения той же формулой и тем же значением коэффициента K . Нарушение этого правила может привести к тому, что

навеска окажется недостаточно представительной, а результаты анализа искаженными.

В приведенной выше схеме сокращения проб указано, что весь материал, остающийся после сокращения, направляется в отвал, однако это не всегда целесообразно. Особенно внимательно следует относиться к материалу проб на последних стадиях дробления и в тех случаях, когда начальный вес проб невелик.

Мелко раздробленный материал может быть промыт в лотке и из него получен шлик, который нередко представляет большую ценность и используется для предварительной оценки качества руды и направления работ.

Пробы, отобранные от керна, особенно с больших глубин и ограниченного веса, представляют большую ценность для геологического изучения. Поэтому все остатки после сокращения таких проб следует хранить вместе с керном (а не сбрасывать в отвал), так как часто приходится неоднократно возвращаться к изучению качества минерального сырья, производить контрольные анализы, повторные анализы на попутные компоненты, элементы-примеси, а нередко собирать материал и для лабораторных технологических испытаний. Эти замечания в первую очередь относятся к рудам цветных, редких и благородных металлов.

ЛЕКЦИЯ №28

КОНТРОЛЬ АНАЛИЗОВ

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ АНАЛИЗА

Тщательная оценка качества минерального сырья при разведке месторождений совершенно обязательна и ей всегда следует уделять большое внимание.

Надежное определение качества минерального сырья имеет гораздо большее значение, чем определение его количества. Ошибки в определении качества минерального сырья оказывают влияние на выбор технологической схемы его переработки и с первых же дней существования предприятия нарушают его нормальную работу. Если содержания полезных компонентов окажутся завышенными по сравнению с фактическими, то предприятие не выполнит план по выпуску продукции и будет терпеть убытки. Занижение содержаний не позволит планировать полное использование ресурсов месторождения и создаст условия для бесконтрольных потерь при добыче и переработке.

Неправильная оценка количества запасов месторождения, разумеется, также влияет на выбор производительности предприятия и определение себестоимости продукции. Но построенное на базе месторождения предприятие может испытать затруднения от неподтверждения запасов лишь через ряд лет, за время которых чаще всего удастся выявить дополнительные

запасы за счет расширения уже известных или обнаружения новых тел полезных ископаемых.

Содержания полезных компонентов в минеральном сырье, определяемые теми или иными методами, должны обязательно проверяться специальными контрольными анализами, которые призваны подтвердить надежность основных массовых определений и правильность работы основной, обычно химической, лаборатории.

При оценке качества анализов различают их точность и верность. Эти понятия наглядно иллюстрируются схемой, приведенной на рис. 6.

Точность анализов проверяется внутренними контрольными анализами, которые производятся той же лабораторией, где выполнялись анализы рядовых проб. Верность анализов проверяется внешними контрольными анализами, которые производятся в другой не менее квалифицированной лаборатории. Кроме того, в случае наличия серьезных расхождений между рядовыми и внешними контрольными анализами необходимо проведение арбитражных анализов в третьей, наиболее авторитетной лаборатории.

Рекомендуется направлять на контрольный анализ пробы, группируя их: по периодам основных анализов, пределам содержания металла в руде, объемному весу, типам руд, участкам месторождения, типам проб и аналитикам, выполнявшим рядовые анализы, и определять отклонения контрольных анализов по такого рода группам проб.

Пробы для контрольных анализов передаются в лабораторию в зашифрованном виде. Однако для улучшения качества контрольных анализов одновременно с передачей проб лаборатории следует сообщить сведения о минеральном составе руды и приблизительном содержании полезного компонента для правильного выбора методики анализов.

Необходимо иметь в виду, что контрольные анализы (как внешнего, так и внутреннего контроля) должны быть представительными, особенно по содержанию контролируемого компонента. Нельзя допускать, чтобы, например, руды с высоким содержанием полезного компонента были проконтролированы, а для руд с низким содержанием полезного компонента контрольные анализы отсутствовали или их было недостаточно для надежных выводов о точности и верности анализов с этим содержанием полезного компонента.

При определении содержаний полезных компонентов в минеральном сырье могут быть допущены как случайные, так и систематические погрешности. Внутренний контроль призван выявлять случайные, а внешний — систематические погрешности анализов. Кроме случайных и систематических погрешностей в математической статистике выделяют так называемые «промахи». К «промахам» относятся резкие расхождения между основными и контрольными анализами (как внутреннего, так и внешнего контроля), которые могут быть вызваны причинами, не имеющими прямого отношения к производству анализов, например перепутаны номера проб и др.

До обработки результатов контрольных анализов такие «промахи» должны быть исключены из общего списка контрольных анализов и каждый из них («промахов») должен быть проверен дополнительно с выявлением причин, вызвавших эти резкие расхождения.

2. ВНУТРЕННИЙ КОНТРОЛЬ

Основной задачей внутреннего контроля является своевременное выявление и устранение недопустимых случайных погрешностей рядовых анализов, связанных с неудовлетворительной работой лаборатории. Известно, что случайные погрешности определения той или иной величины подчиняются закону нормального распределения. Это дает основание величину средней случайной погрешности определять как среднеарифметическое из индивидуальных проб без учета их знака. Средняя абсолютная случайная погрешность определяется по формуле

$$\bar{V} = \frac{\sum \Delta_i}{n},$$

где $\bar{\Delta}$ — средняя абсолютная случайная погрешность;

$\bar{\Delta}_i$ — величина отклонений между основными x и контрольными y анализами без учета знака $\{x_i - y_i\}$;

n — количество анализов.

Наиболее важная величина — средняя относительная погрешность — определяется по формуле

$$\bar{\Delta}_{отн} = \frac{\bar{\Delta}}{C_o} 100,$$

где $\bar{\Delta}_{отн}$ — средняя относительная случайная погрешность;

C_o — среднее арифметическое содержание полезного компонента в основных пробах.

Величина средней относительной случайной погрешности должна вычисляться по отношению к среднему содержанию полезного компонента в основных, а не в контрольных анализах. Применяемое иногда определение величины средней случайной погрешности сопоставлением средних содержаний по основным и контрольным анализам является неправильным. В нашем примере разница между средними содержаниями по основным и контрольным анализам составляет всего 0,01% (2,88—2,87); такой расчет вуалирует фактическую величину случайной ошибки и не может приниматься во внимание.

Очень важно, чтобы внутренний контроль был систематическим. Для этой цели пробы на контрольный анализ необходимо отбирать от дубликатов проб регулярно, например один-два раза в квартал, и отправлять в основную лабораторию с зашифрованными номерами. При большом количестве проб обычно достаточно 3—5% от их общего количества, а при небольшом объеме

опробования — 30—50 анализов, равномерно распределенных в течение периода контроля.

Точность анализов должна быть проверена для каждого природного типа полезного ископаемого и по его сортам в зависимости от содержания полезного компонента. Допустимые средние случайные погрешности в определении содержаний компонентов для большинства руд предусмотрены инструкциями ГКЗ.

Табл. 1 Сопоставление внутренних контрольных анализов с основными

№ пробы основной/контрольной	Содержание полезного компонента, %		Отклонения
	по основному анализу x	по контрольному анализу y	
873/2001	2,15	2,51	-0,36
874/2002	2,48	1,98	+0,50
875/2003	1,95	2,15	-0,20
876/2004	3,41	2,41	+1,00
906/2035	3,21	3,02	+0,19
Итого	100,78	100,41	10,75

В разобранный пример определения случайной погрешности (см. табл. 1) колебания в содержаниях полезного компонента по отдельным пробам незначительны и фактически все пробы относятся к одному классу руды по содержанию в ней металла. В тех случаях, когда величина случайных погрешностей превышает установленные пределы, основные анализы за контролируемый период считаются недоброкачественными и их следует переделать.

При подсчете запасов для определения средних содержаний полезного компонента на месторождении обычно используют большое количество проб, исчисляемое сотнями и тысячами. Случайные погрешности, компенсируя друг друга, не оказывают существенного влияния на общую величину рудной площади месторождения, на среднее содержание полезного компонента, а следовательно, и на количество запасов минерального сырья. Однако для отдельных подсчетных блоков, которые базируются на ограниченном количестве проб, величина случайной погрешности может оказывать влияние на величину среднего содержания полезного компонента. Кроме того, важно не только знать среднее содержание полезного компонента в подсчетном блоке или рудном теле, но и правильно его оконтурить в пространстве. От величины случайной погрешности зависят точность и правильность контуров рудного тела, построенных по данным рядовых анализов.

Рассмотренный прием обработки результатов внутренних контрольных анализов, предложенный автором в 1955 г., наиболее прост и широко

применяется в практике геологоразведочных работ. В литературе описаны и другие приемы, которые также дают возможность оценить точность рядовых анализов. Однако результаты обработки контрольных анализов другими способами не могут быть использованы для сравнения с величинами допустимых случайных погрешностей, предусмотренных инструкциями ГКЗ, а следовательно, и для решения вопроса о возможности использования рядовых анализов при подсчете запасов. Это связано с тем, что величины допустимых случайных погрешностей для большинства металлов определены как средние арифметические из разностей между парами анализов (контрольных и основных). Поэтому методика обработки контрольных анализов должна быть аналогичной, в противном случае результаты окажутся несопоставимыми.

Для некоторых видов полезных ископаемых, в частности для золота и бокситов, величины случайных погрешностей анализов рядовых проб установлены ГКЗ исходя из других принципов, что требует и другого подхода к обработке результатов контрольных анализов.

3. ВНЕШНИЙ КОНТРОЛЬ

Главной задачей внешнего контроля является своевременное вскрытие и устранение возможных систематических погрешностей в работе основной лаборатории. При внешнем контроле проверяется не только тщательность работы основной лаборатории, но и правильность избранного метода анализа.

Требования к внешнему контролю во многом совпадают с требованиями к внутренним контрольным анализам. Так, внешний контроль также должен быть систематическим. Для этого не реже одного раза в квартал или, как исключение, в полугодие отбираются и направляются в контрольную лабораторию 3—5% от общего числа проб, но не менее 30—50 проб, для каждого периода контроля и каждого типа и сорта минерального сырья. В начальный период разведки месторождения или работы основной лаборатории контроль должен быть чаще.

Пробы, отбираемые для внешнего контроля, должны быть также представительными. Отбор проб необходимо производить из остатков порошков проб основной лаборатории. Пробы, отобранные не из остатков лабораторных проб, а из дубликатов, не всегда дают возможность установить истинную величину погрешности работы основной лаборатории, так как погрешности подготовки проб к анализам могут вуалировать погрешность самих анализов. Результаты внешнего контроля необходимо проверять и сравнивать по отдельным классам содержаний полезного компонента, увязывая эти классы с классами для внутреннего контроля. Систематические ошибки являются наиболее опасными. Каких-либо допустимых величин систематических ошибок нет и не может быть установлено. Систематическая ошибка в любую сторону недопустима. В каждом конкретном случае должна

быть точно установлена величина систематической погрешности основной лаборатории и устранены причины, вызывающие ее.

Использование рядовых анализов, несущих в себе систематическую погрешность, для оконтуривания и подсчета запасов всегда приводит к ошибкам. При завышении содержаний полезного компонента контур тела, а следовательно, и запасы оказываются завышенными по сравнению с истинными, при занижении содержаний — контур и запасы занижены. До обработки результатов внешнего контроля проверяют правильность отбора порошков. Затем исключают грубые ошибки («промахи»), которые не имеют прямого отношения к производству химических анализов. Затем составляют сравнительную ведомость, аналогичную ведомости для внутреннего контроля, и вычисляют отклонения по каждой пробе с указанием знака отклонения.

4. АРБИТРАЖНЫЕ АНАЛИЗЫ

При наличии систематической погрешности, в зависимости от ее величины и значения, что особенно важно для руд с содержанием, близким к кондиционному, содержание ценного компонента в минеральном сырье может быть уточнено путем введения поправочного коэффициента.

Для этого необходимо убедиться в том, что результаты внешнего контроля достаточно точны, не содержат погрешностей и что выявленная систематическая погрешность действительно относится к работе основной лаборатории. Для этой цели производится достаточное количество (не менее 30) контрольных арбитражных анализов тех же проб (порошков) в третьей, наиболее квалифицированной лаборатории. Только после подтверждения достоверности контрольных анализов арбитражными может быть решен вопрос о применении того или иного поправочного коэффициента к результатам работы основной лаборатории. Одновременно должны быть приняты меры для устранения ошибок при выполнении анализов в основной лаборатории.

При применении поправочных коэффициентов следует помнить, что при этом может уточниться не только величина среднего содержания полезного компонента, но и площадь распространения кондиционного минерального сырья, оконтуриваемая с учетом данных контрольных анализов.

5. КОНТРОЛЬ АНАЛИЗОВ ЭТАЛОННЫМИ ПРОБАМИ

Контроль работы химической лаборатории с помощью эталонов является наиболее точным, наименее трудоемким и дает возможность быстро реагировать на плохую работу лаборатории и принимать соответствующие меры.

Неудобство этого способа заключается в необходимости изготовления эталонов — проб, которые по своему минеральному и химическому составу

должны быть аналогичны контролируемым пробам. Такие эталоны заранее изготавливаются и анализируются в высококвалифицированной лаборатории, и содержание в них того или иного компонента считается истинным.

В каждую партию рядовых проб (10—20), направляемую в лабораторию, включаются эталонные пробы. Сопоставление результатов анализов эталонных проб с заранее известными в них содержаниями компонентов дает возможность сделать заключение о надежности анализов всей партии проб. В случае обнаружения серьезных ошибок вся партия проб анализируется заново.

За последние годы разрабатывается и внедряется в практику геолого-разведочных работ большое количество новых методов анализов минерального сырья (как химических, так и физических). Использование новых методов также требует организации контроля.

Результаты анализов того или иного нового метода должны быть проверены как внутренним, так и внешним контролем, а в случае необходимости и арбитражными анализами, как это указано выше. Кроме того, в начальный период внедрения нового метода необходимо одновременное выполнение анализов минерального сырья известными и уже апробированными методами. Количество таких одновременных анализов должно быть достаточным для уверенной оценки надежности нового метода. Не следует забывать, что анализы, проведенные ранее известным методом, в свою очередь должны быть проверены внутренним и внешним контролем, так как в противном случае они не смогут служить эталоном для оценки нового метода.

ПРИЛОЖЕНИЕ

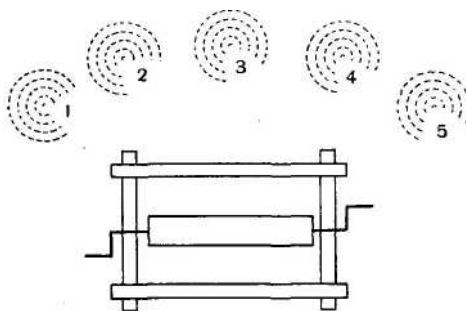


Рис. 1. Порядок размещения выкидов у устья шурфа.

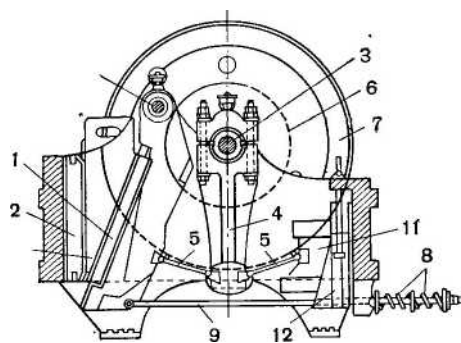


Рис. 2. Щековая дробилка «Блек».

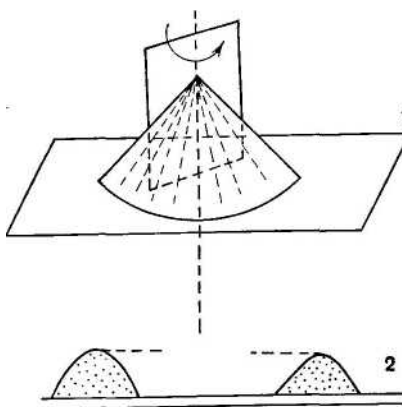


Рис. 3. Смещение способом кольца и конуса.

1 – разворачивание конуса на кольцо; 2 – кольцо в разрезе.

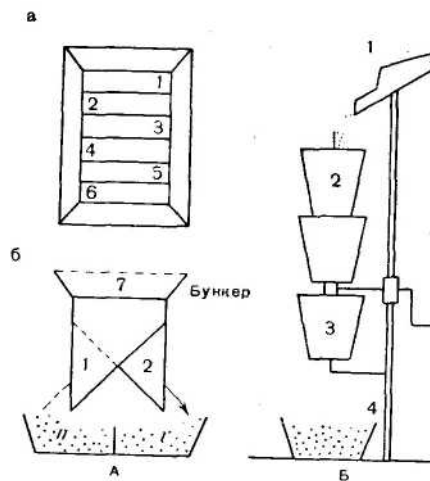


Рис. 4. Ящичный и конусный делители.

А – ящичный делитель: а – вид сверху; б – вид сбоку. 1—6 делительные ящички; 7 – бункер; I и II – приемные сосуды. Б – конусный делитель (ручной): 1 – бункер; 2 – верхний конусный сосуд; 3 – нижний конусный сосуд; 4 – приемный сосуд.

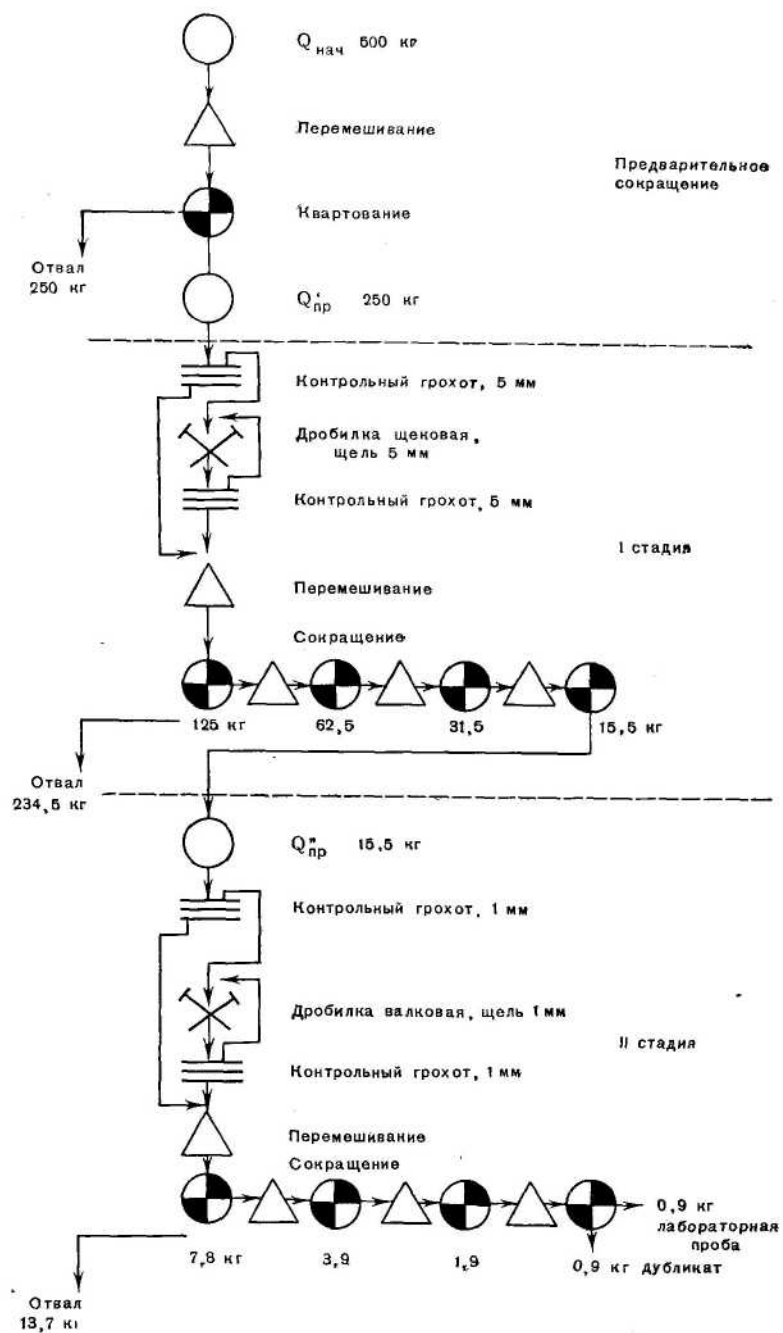


Рис. 5. Схема обработки и сокращения проб.

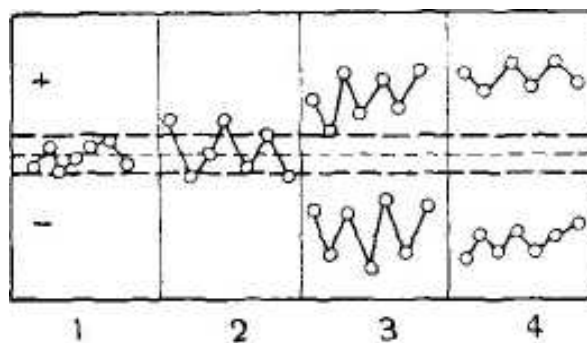


Рис. 6. Характеристика анализов по их точности.

1 – точно; 2 – с большой случайной погрешностью; 3 – с большой случайной и систематической погрешностью; 4 – с систематической погрешностью; α – истинное содержание компонента; $\pm \Delta$ – допустимые отклонения от истинного содержания.

Табл. 2

Вычисление коэффициента вариации содержания полезного компонента			
№ пробы	Содержание компонента C_i , %	Отклонение от среднего $x_i = \pm(C_i - C_{\text{ср}})$	Квадрат отклонения x_i^2
1	5.0	+1.5	2.25
2	7.7	+4.2	17.64
3	1.5	-2.0	4.00
4	1.1	-2.4	5.76
5	7.2	+3.7	13.69
...	...	...	...
24	1.8	-1.7	2.89
$\sum C_i = 84,6$		—	$\sum x_i^2 = 160,38$

Табл. 2

Характеристика видов дробления.

Вид дробления	Конечный диаметр частиц, мм	Степень измельчения	Основные способы дробления
Крупное	100—30	1/2—1/4	Ручное — молотками; механическое — щековые дробилки «Блек»
Среднее	20—5	1/2—1/6	Ручное — молотками, крупные ступы; механическое — малые щековые дробилки, валки
Мелкое	2—0,7	1/3—1/6	Ручное — ступы, растиратели; механическое — малые валки
Тонкое	0,5—0,07	1/6—1/10	Ручное — малые ступы; механическое — дисковые истиратели, шаровые и стержневые мельницы

Табл. 3

Сопоставление внешних контрольных анализов с основными.

№ п. п.	№ пробы основной/контрольной	Содержание золота (г/т) по анализам		Знак расхождений	Величина расхождений Δ_i		№ п. п.	№ пробы основной/контрольной	Содержание золота (г/т) по анализам		Знак расхождений	Величина расхождений Δ_i
		основным x_i	контрольным y_i						основным x_i	контрольным y_i		
1	775/101	4,5	5,1	—	0,6		24	798/124	7,9	9,6	—	1,7
2	776/102	0,8	1,9	—	1,1		25	799/125	9,1	10,5	—	1,4
3	777/103	2,0	3,4	—	1,4		26	800/126	4,1	6,8	—	2,7
4	778/104	3,6	4,1	—	0,5		27	801/127	4,7	6,8	—	2,1
5	779/105	0,2	1,4	—	1,2		28	802/128	5,1	6,7	—	1,6
6	780/106	4,5	5,6	—	1,1		29	803/129	5,0	8,3	—	3,3
7	781/107	1,6	2,6	—	1,0		30	804/130	24,4	27,2	—	2,8
8	782/108	2,2	3,1	—	0,9		31	805/131	16,5	19,5	—	3,0
9	783/109	1,8	3,0	—	1,2		32	806/132	6,6	8,4	—	1,8
10	784/110	2,4	4,2	—	1,8		33	807/133	3,9	4,0	—	0,1
11	785/111	7,6	8,5	—	0,9		34	808/134	20,5	22,4	—	1,9
12	786/112	1,9	2,9	—	1,0		35	809/135	7,7	5,7	+	2,0
13	787/113	3,2	4,8	—	1,6		36	810/136	2,8	3,9	—	1,1
14	788/114	2,6	4,3	—	1,7		37	811/137	3,6	4,2	—	0,6
15	789/115	2,1	3,1	—	1,0		38	812/138	2,0	2,7	—	0,7
16	790/116	9,0	10,2	—	1,2		39	813/139	1,4	1,8	—	0,4
17	791/117	3,8	6,5	—	2,7		40	814/140	0,9	1,6	—	0,7
18	792/118	4,7	5,9	—	1,2		41	815/141	0,8	0,9	—	0,1
19	793/119	18,7	20,7	—	2,0		42	816/142	3,7	3,8	—	0,1
20	794/120	5,5	7,3	—	1,8		43	817/143	3,0	3,8	—	0,8
21	795/121	8,8	9,5	—	0,7		44	818/144	3,6	4,7	—	1,1
22	796/122	13,8	15,0	—	1,2							
23	797/123	12,7	13,9	—	1,2							
						Итого			255,3	310,3		55,0

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В РУДЕ

Основой математической статистики является теория вероятностей, изучающая количественные закономерности массовых случайных явлений. Случайность обуславливается не одной какой-либо причиной, а совокупностью их, и вызывают то или иное «случайное» явление (событие). Заранее предусмотреть точное значение случайной величины нельзя.

Изучение массовых случайных явлений при помощи методов математической статистики дает возможность вскрывать общие закономерности, которые оказываются скрытыми в каждом отдельном наблюдении (явлении). Математическая статистика и теория вероятностей дают возможность предусматривать, предугадывать события и строить определенные прогнозы. Именно поэтому математическая статистика уже давно и широко используется во многих областях наших знаний и во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. В геологии математическая статистика применяется уже более 100 лет, например для расчленения осадочных пород по количественному соотношению фауны.

Вопросам теории вероятности посвящены работы многих видных ученых математиков — Н. В. Смирнова, П. Л. Чебышева, А. М. Ляпунова, А. А. Колмогорова и др. Имеются хорошие работы и ряда геологов, освещающих возможности использования математической статистики для разведки и оценки месторождений. Это работы П. Л. Каллистова, Д. А. Родионова, И. П. Шарапова и некоторых других.

Исследованиями установлено, что распределение случайных величин часто подчиняется определенному закону, который носит название закона нормального распределения, или закона Гаусса.

При характеристике многих явлений пользуются средними величинами, например высота колосьев пшеницы, длина изготавливаемых болтов и др. Однако в результате воздействия различных причин каждое отдельно взятое наблюдение (отдельные колосья пшеницы, отдельные болты) отклоняются от характерной для данного явления средней величины. Отклонения могут быть как в большую сторону, так и в меньшую от этой средней. При этом наблюдается определенная закономерность — чем больше отклонение (в ту или другую сторону), тем реже оно встречается. Графическое изображение этих отклонений будет иметь вид перевернутого колокола (рис. 1). На многих месторождениях распределение полезного компонента подчиняется тоже этому закону.

Например, допустим, что среднее содержание меди на месторождении по данным опробования составляет 5%. Но не все пробы покажут содержание, равное 5%, будут пробы с более низким (4—2%) и с более

высоким (6—8%) содержанием. Однако, чем больше отклонение от среднего значения признака (5%), тем меньше вероятность встретить это отклонение (т. е. пробы с содержанием меди 2 или 8% встретятся реже, чем пробы с содержанием 4 и 6%).

Понятие о вероятности лучше продемонстрировать на другом примере. Допустим, что в урне находятся два шара — черный и белый. Если нужно вынуть один шар, то он может оказаться либо белым, либо черным. Вероятность появления и белого и черного шара одинакова (50%), и эти события являются равновероятными. Но если в урне будет не два, а 100 шаров и из них только один черный, а остальные белые, то при задании вынуть один шар, он может оказаться скорее белым, чем черным. Вероятность появления белого шара равна 99%, а черного — только 1 %.

Очень близкий пример можно наблюдать при разведке золотоносных россыпей. Обычно количество мелких золотин несравнимо больше, чем крупных и тем более самородков. Поэтому при разведке и опробовании золотоносных россыпей вероятность попадания в пробу мелких золотин значительно выше, чем крупных. Это нередко приводит к занижению содержания золота при разведке и к наличию так называемых коэффициентов намыва при эксплуатации россыпей.

Закон нормального распределения хорошо изучен и дает возможность вскрывать ряд интересных зависимостей между отдельными величинами, что широко используется в практике.

Фактические наблюдения (экспериментальные, опытные) обычно не полностью совпадают с теоретическими данными и их приходится специально оценивать и подвергать обработке, которая в ряде случаев достаточно сложна.

Во многих случаях кривые, построенные на материалах фактических наблюдений, могут быть заменены (аппроксимированы) теоретическими кривыми, что дает возможность использовать установленные теоретические закономерности для практических целей.

Математическая обработка геологоразведочной информации с каждым годом все больше находит применение в практической деятельности.

Этому способствует использование электронных машин. Особый интерес представляют результаты обработки данных опробования — пробы рассматриваются как эмпирический ряд, к которому можно применить методы вариационной статистики, в частности корреляционного анализа.

В 1940 г. Н. К. Разумовский показал, что распределение металла в рудных телах подчиняется определенным законам. Позднее к аналогичным выводам пришли и другие исследователи — П. Л. Каллистов, В. В. Богацкий, Л. И. Четвериков и др. Если по горизонтальной оси координат откладывать содержание полезного компонента, а по вертикальной — количество проб с данным содержанием, то можно выделить пять основных типов кривых распределения полезных компонентов в руде, приведенных на рис. 1.

Правоасимметричные кривые характерны для компонентов, составляющих главную массу руды и обладающих наименьшей изменчивостью (например, для содержания железа в массивных магнетитовых рудах). Компоненты, составляющие ничтожную часть в составе руды и обладающие резкой изменчивостью, обычно дают резкую левоасимметричную вариационную кривую (например, содержание золота в руде). Разные компоненты одной и той же руды могут давать различные виды кривых.

Использование выявленных закономерностей и кривых в практике разведки месторождений пока очень ограничено. Возможно, что это связано с оторванностью этих кривых от пространственного распределения компонентов на месторождениях.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ

Для геологоразведочных целей наиболее широко применяется коэффициент вариации, вычисляемый по содержанию компонента:

а) значение коэффициента вариации по содержанию полезного компонента используется для количественной оценки изменчивости содержания данного компонента, которая является одним из показателей при отнесении месторождения к той или иной группе;

б) коэффициент вариации используется для определения расстояний между пробами;

в) коэффициент вариации служит основой для определения необходимого количества проб (наблюдений) при оценке средней величины (содержания полезного компонента, мощности и др.), в частности для определения минимального количества контрольных анализов.

Следует отметить, что величины, получаемые с помощью коэффициента вариации, в значительной степени условны, но все же они дают некоторую ориентировку и помогают правильному решению ряда вопросов. Коэффициент вариации вычисляется следующим образом. Составляется таблица, в которую вписываются результаты измерений и вычислений, например содержаний металла (табл. 1). Затем вычисляется среднее арифметическое значение содержания:

Если число замеров показателя признака велико (большое число проб), то во избежание вычислительных операций по каждому значению содержания сначала производится группировка всех частных значений содержаний по отдельным классовым интервалам, затем составляется так называемая разносная решетка (табл. 2).

На основании этой разносной решетки составляется краткая подсчетная табл. 3. Вычислительные операции ведутся аналогично описанным выше и результаты вычислений коэффициента вариации по классовым группам такие же, как и по свободному ряду показателей признака.

Чем больше значение коэффициента вариации (чем выше степень изменчивости), тем большие погрешности могут быть при вычислении

средних значений показателя. Поэтому при большей степени изменчивости число точек наблюдений должно быть достаточно большим.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ И СОСТАВЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ

Корреляцией называется закономерная связь между двумя или несколькими признаками, находящимися в прямой или обратной зависимости. При помощи коэффициента корреляции парагенетические отношения отдельных компонентов руды получают количественную оценку.

При высоком значении коэффициента корреляции можно существенно сократить количество анализов на один из компонентов и определять его содержание по вычисленному уравнению регрессии в зависимости от содержаний главного компонента. Метод корреляции позволяет также определять среднее содержание по подсчетному блоку или участку сопутствующих компонентов и производить подсчет их запасов по корреляционной зависимости содержаний этих компонентов от содержаний и запасов главного компонента.

Устанавливая связь между компонентами, корреляция дает этой связи количественное выражение в виде коэффициента корреляции r , величина которого колеблется от нуля до ± 1 . Если связи между компонентами нет, то $r = 0$ или же представляет собой малую величину с положительным или отрицательным знаком. При прямой пропорциональной зависимости $r = +1$, при обратной $r = -1$.

При положительной корреляции увеличение содержания одного компонента ведет за собой увеличение содержания другого компонента.

Отрицательная корреляция характеризуется увеличением содержания одного компонента при уменьшении содержания другого. Для определения корреляционной зависимости следует отобрать группу проб, взятых по одному и тому же естественному типу руд. Смешение проб из разных естественных типов может дать неясные результаты.

Корреляционная зависимость может быть выявлена графическим и аналитическим способами.

Для определения корреляционной связи двух компонентов графическим способом на миллиметровой бумаге строят квадрат (корреляционную решетку). По оси абсцисс наносят значения одного компонента, а по оси ординат — значения другого компонента.

Вычисление коэффициента корреляции аналитическим способом следует производить в том случае, если построение корреляционной решетки установило наличие определенной зависимости между компонентами.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РУДОНОСНОСТИ

Коэффициент рудоносности используется при подсчете запасов месторождений с прерывистым, обычно весьма неравномерным оруденением. Величина коэффициента рудоносности определяется как отношение рудной

части тела к общей его величине. Различают объемный коэффициент рудоносности, площадной и линейный.

Чаще всего коэффициент рудоносности вычисляется как линейное отношение суммы рудных участков по горным выработкам или скважинам (или линейных величин влияния пересечений) к общей протяженности выработок в пределах рудной зоны.

Более надежно коэффициент рудоносности определяется по данным очистных работ путем сопоставления площадей отработанных участков со всей площадью блока на проекции. В этом случае он является отношением продуктивной площади отработанной части рудного тела, которая замеряется планиметром, к общей площади всего тела, определенной по той же проекции.

Наконец, коэффициент рудоносности может быть вычислен как отношение объема отработанной части блока или участка к общему объему того же блока или участка. Последний способ дает наиболее точное значение коэффициента, но применяется редко, так как требует полного обмера отработанных участков и точных данных эксплуатации о количестве полученной руды.

Коэффициент рудоносности дает возможность оценить только качественную сторону прерывистости оруденения. При одной и той же величине коэффициента рудоносности размеры рудных участков (гнезд) могут быть крупными при небольшом их количестве или мелкими при значительном их количестве. Поэтому кроме величины коэффициента рудоносности необходима дополнительная информация, которая давала бы возможность оценить величину рудных гнезд и решить вопрос о целесообразности их отработки. Особенно важны эти данные для месторождений золота, ртути и других полезных ископаемых, отличающихся сложным характером оруденения и низкими коэффициентами рудоносности.

Для определения величины коэффициента рудоносности (K_p) при разведке месторождений используют следующие соотношения:

$$K_p = \frac{O_p}{O_o} = \frac{П_p}{П_o} = \frac{\sum L_p}{\sum L_o} = \frac{\sum M_p}{\sum M_o} = \frac{n_p}{n_o},$$

где O_o и O_p — объем соответственно общий рудоносного горизонта и рудной его части;

$П_o$ и $П_p$ — площадь общая рудоносного горизонта и рудной ее части;

L_o и L_p — протяженность одного интервала, вскрытого выработкой, соответственно общего рудоносного горизонта и рудной его части;

M_o и M_p — мощность одного интервала, вскрытого выработкой, соответственно общего рудоносного горизонта и рудной его части;

n_o и n_p — число выработок общее и вскрывших руду.

Однако приведенное равенство и вычисление коэффициента рудоносности по указанным показателям не всегда возможно.

5. ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАЧЕСТВА

Изменчивость содержания или иных качественных показателей полезных ископаемых в практике разведочных работ бывает сложной. Как правило, она состоит из двух видов изменчивости — случайной и закономерной.

Случайная изменчивость может быть выражена через среднеквадратическое отклонение (σ) и коэффициент вариации (v), а закономерная — величиной приращения содержания или иного качественного показателя на единицу длины. Длина участка, на котором приращение идет с одним знаком, называется длиной полуволны (рис.4). Практически длины полуволн могут быть замерены между точками, в которых происходит перегиб кривой изменчивости.

Когда случайная изменчивость наложена на закономерную, происходит затухание последней. С целью разделения такой сложной изменчивости на составляющие применяется построение сглаженной кривой, называемой «кривой регрессии». Построение такой кривой осуществляется методом «скользящего окна». В результате на графике изображаются разброс точек частных значений признака и некоторое усредненное их положение в координатах (рис. 5). Кривая регрессии приблизительно отображает ход закономерной изменчивости признака (в данном примере содержания золота в одной из жил). Величины же случайных отклонений признака определяются отрезками, измеряемыми от кривой регрессии по оси ординат, как показано на рисунке. Для характеристики случайной изменчивости после каждого сглаживания вычисляется значение коэффициента вариации этих частных отклонений признака.

ПРИЛОЖЕНИЕ

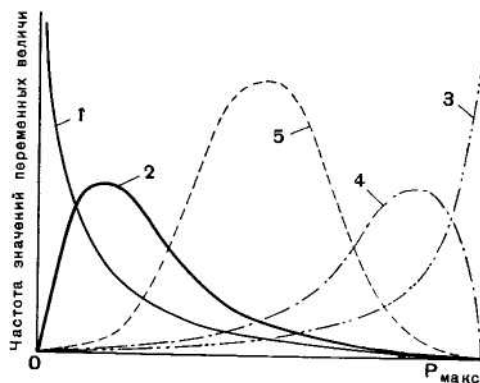


Рис. 1. Пять основных видов распределения компонентов в руде

1 — гиперболоподобное, левоасимметричное; 2 — нормально логарифмическое, левоасимметричное; 3 — гиперболоподобное, правоасимметричное; 4 — нормально логарифмическое, правоасимметричное; 5 — нормальное, симметричное (кривая Гаусса)

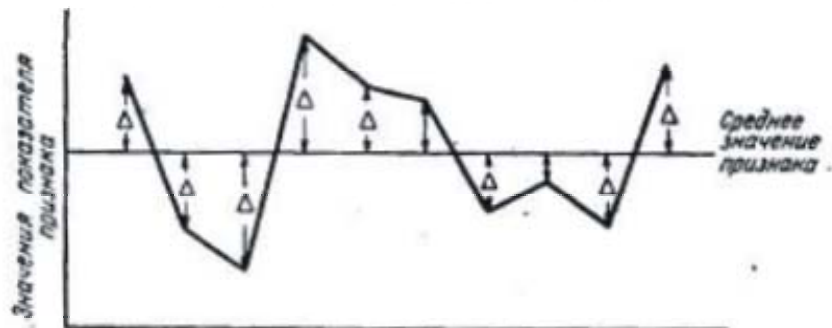


Рис. 2. Отклонения показателя признака от его среднего значения.

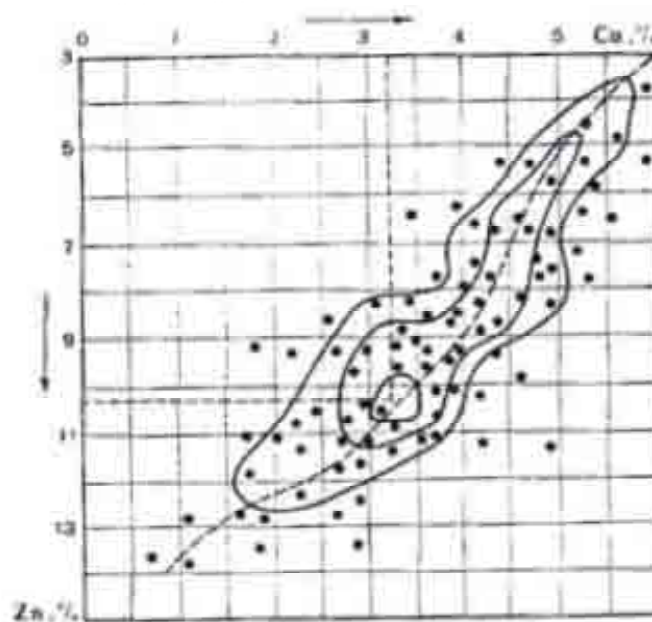


Рис. 3. Графическое определение корреляционной зависимости между содержаниями меди и цинка в рудном месторождении.

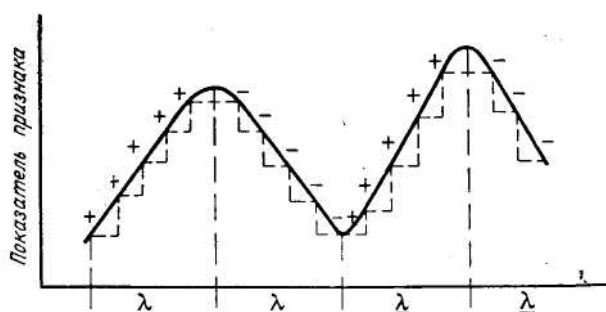


Рис. 4. Закономерная Изменчивость показателя
признак а $\frac{\lambda}{2}$ — длина полуволны

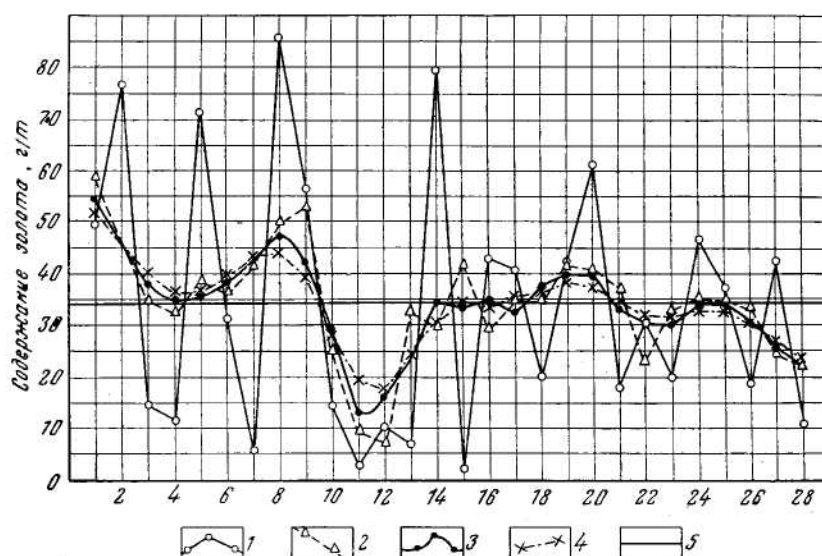


Рис. 5. Построение кривой регрессии содержаний золота в жиле путей двукратного сглаживания его значений по пробам (по П. Л. Каллистову)

1 — значения содержаний по частным пробам; 2 — 3 — 4 — значения содержаний после первого, второго и третьего сглаживаний; 5 — уровень среднего содержания

Табл.1

Пример вычисления коэффициента вариации

№ п/п	№ пробы	Содержание в пробах c_i	Отклонение от среднего содержания $\Delta c = c_i - \bar{c}$	Квадрат отклонения $(\Delta c)^2$
1	25	0,5	-0,3	0,09
2	26	0,2	-0,6	0,36
3	27	0,7	-0,1	0,01
4	28	0,3	-0,5	0,25
5	29	0,8	0,0	0,00
6	30	0,9	+0,1	0,01
7	31	1,1	+0,3	0,09
8	32	0,6	-0,2	0,04
9	33	0,9	+0,1	0,01
10	34	1,2	+0,4	0,16
11	35	1,0	+0,2	0,04
12	36	1,4	+0,6	0,36
$n = 12$		$\Sigma = 9,6$		$\Sigma = 1,42$

$$\bar{c} = \frac{9,6}{12} = 0,8$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,42}{11}} = 0,34$$

$$v_c = \frac{0,34}{0,8} \cdot 100 = 42,5\%$$

Табл. 2

**Вспомогательная таблица для вычисления
коэффициента вариации (при большом
количестве проб)**

Классовый интервал содержания, %	Среднее значение содержания клас- сового интервала, %	Количество проб
0,01—0,10	0,05	1
0,11—0,20	0,15	3
0,21—0,30	0,25	4
0,31—0,40	0,35	7
0,41—0,50	0,45	8
0,51—0,60	0,55	12
0,61—0,70	0,65	13
0,71—0,80	0,75	20
0,81—0,90	0,85	31
0,91—1,00	0,95	19
1,01—1,10	1,05	10
1,11—1,20	1,15	9
1,21—1,30	1,25	6
1,31—1,40	1,35	5
1,41—1,50	1,45	2

Табл. 3

Пример вычисления коэффициента вариации при большом количестве проб

№ п/п	Среднее содержание классового интервала с	Количе- ство проб n	с · n	Δс	Δс²	Δс² · n
1	0,05	1	0,05	—0,75	0,5625	0,5625
2	0,15	3	0,45	—0,65	0,4225	1,2675
3	0,25	4	1,00	—0,55	0,3025	1,2100
4	0,35	7	2,45	—0,45	0,2025	1,4175
5	0,45	8	3,60	—0,35	0,1225	0,9800
6	0,55	12	6,60	—0,25	0,0625	0,8500
7	0,65	13	8,45	—0,15	0,0225	0,2925
8	0,75	20	15,00	—0,05	0,0025	0,0500
9	0,85	31	26,35	+0,05	0,0025	0,0775
10	0,95	19	18,05	+0,15	0,0225	0,4275
11	1,05	10	10,50	+0,25	0,0625	0,6250
12	1,15	9	10,35	+0,35	0,1225	1,1025
13	1,25	6	7,50	+0,45	0,2025	1,2150
14	1,35	5	6,75	+0,55	0,3025	1,5125
15	1,45	2	2,90	+0,65	0,4225	0,8450

$$\sum n = 150$$

$$\sum c \cdot n = 120,00$$

$$\sum \Delta c^2 \cdot n = 12,4350$$

$$\bar{c} = \frac{\sum c \cdot n}{\sum n} = \frac{120}{150} = 0,80 \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta c^2 \cdot n}{\sum n}} = \sqrt{\frac{12,4350}{150}} = 0,288$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{c}} = \frac{0,288}{0,80} \cdot 100 = 36\%$$

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

После завершения на месторождении геологоразведочных работ его передают промышленности для освоения. Промышленные организации, учитывая потребности народного хозяйства, намечают сроки освоения месторождения и составляют проект его разработки.

Для успешной эксплуатации месторождения геологи, производящие разведку, должны учитывать требования к горнотехническим условиям разработки месторождений и по мере возможности удовлетворять их.

При разработке крупных месторождений минерального сырья нередко выделяются рудничные поля, или участки, на каждом из которых организуется самостоятельное горнорудное предприятие. Каждое рудное поле в свою очередь может быть разделено на несколько эксплуатационных полей — шахтных, штольневых, карьерных. На площади каждого поля проектируются, а затем организуются эксплуатационные работы.

Различают два основных вида разработок месторождений полезных ископаемых: подземные и открытые. Как при подземных, так и при открытых разработках твердых полезных ископаемых намечаются три стадии работ: 1) вскрытие месторождения (подход к полезному ископаемому); 2) подготовка месторождения к выемке и 3) собственно добычные работы (массовое извлечение полезного ископаемого).

1. ПОДЗЕМНАЯ РАЗРАБОТКА

В зависимости от условий залегания полезного ископаемого подземные горнодобычные работы подразделяются на: разработку горизонтально залегающих месторождений и разработку наклонно залегающих месторождений.

При горизонтальном или близком к горизонтальному залегании тел полезного ископаемого глубоко от поверхности первая стадия работ — вскрытие месторождения — осуществляется обычно шахтой, которая пересекает залежь от кровли до почвы. Ниже ствола шахты проходится углубление (зумпф) для сбора воды и других целей (рис. 1). В нижней части ствола шахты в виде большой камеры устраивают рудничный двор (путем выемки пород и закрепления стен и кровли) для разъезда вагонеток, разгрузки оборудования и т. д. Ствол шахты оборудуется для спуско-подъемных операций, а устье подготавливается к приемке полезного ископаемого. Если тело полезного ископаемого залегает наклонно с пологим или крутым углом падения, то размеры шахтных полей определяются не по площади, как для горизонтально залегающих, а по простиранию и по падению.

Наклонно залегающие тела полезных ископаемых вскрывают обычно с лежачего бока (очень редко с висячего). Для этого шахта закладывается

примерно в средней части длины шахтного поля по простиранию и из пройденной шахты проходят квершлагги, пересекающие месторождение на различных горизонтах (этажах). Высота каждого этажа для рудных месторождений обычно 30—50 м, а на мощных рудных телах — до 100 м; на угольных месторождениях — 50—80 м. Таким образом, в данном случае вскрытие месторождения осуществляется шахтой с квершлаггами (рис. 2).

Вторая стадия — подготовка месторождения к выемке — осуществляется проходкой штреков. При горизонтальном залегании тела полезного ископаемого от рудничного двора шахты в противоположные стороны проводят два главных штрека большого сечения, хорошо закрепленные и оборудованные для откатки (рельсовые пути, электрическое освещение и пр.), Перпендикулярно главным штрекам проходят промежуточные, из которых в свою очередь проводятся в стороны новые штреки. При этом шахтное поле нарезается на блоки прямоугольной формы, нередко называемые столбами. Нарезка эксплуатационных блоков и является основной задачей подготовительных работ.

При наклонном залегании тела подготовка месторождения к отработке ведется по намеченным этажам. Подготовительными выработками являются: главные штреки, идущие из квершлаггов по простиранию тела полезного ископаемого (этажные штреки); гезенки, восстающие, которые часто соединяют между собой межэтажные штреки; орты, которые проходят из штреков по горизонтальной мощности в местах раздувов тел полезных ископаемых.

Выработки, вскрывающие месторождение, а также указанные подготовительные выработки наносятся на продольную вертикальную проекцию месторождения — продольный разрез по простиранию (рис. 3) и на планы, составляемые для каждого этажа (горизонта) — этажные или погоризонтные планы.

Продольные проекции тела полезного ископаемого можно составлять в плоскости падения тела (по осевой его части); тогда наклонные расстояния между этажными штреками будут истинными. С изменением угла падения тела полезного ископаемого меняется и направление разреза, что неудобно при документации и затрудняет изучение и сопоставление чертежей. Поэтому при крутом падении тела полезного ископаемого продольные разрезы чаще строятся в виде проекций тела на вертикальную плоскость; в этом случае вертикальные расстояния между горизонтами сохраняются на чертежах в истинном виде.

Когда горизонтально залегающие тела полезных ископаемых выходят на поверхность в оврагах или на склонах, разработку их можно осуществлять штольнями. В этих случаях тело полезного ископаемого вскрывается продольной штольней, которая продвигается по полезному ископаемому в сторону массива. По мере продвижения штольни из нее в обе стороны начинают проходить штреки с нарезкой блоков для очистных эксплуатационных работ. Штольня задается с восстанием, что обеспечивает

ее самоосушение; вдоль штольни с обеих сторон оставляют предохранительные целики.

Третья стадия — собственно добычные, или очистные, работы. На этой стадии отрабатываются подготовленные блоки с массовым извлечением полезного ископаемого на поверхность. Оработку блоков можно вести от периферии шахтного поля к шахте (к центру залежи) или от шахты (от центра) к периферии, либо комбинированным способом.

Для наиболее рационального, быстрого и полного извлечения полезного ископаемого из недр применяют различные системы разработок в зависимости от конкретных условий разработки.

Системой разработки месторождения или его части называют, совокупность подготовительных и очистных выработок и определенный порядок их проведения, увязанный в пространстве и времени. Правильно выбранной системой считают ту, которая отвечает требованиям безопасности, наибольшей экономичности и высокой интенсивности выемки.

Требование экономичности предусматривает наименьшие потери и разубоживание полезного ископаемого при добыче, наибольшее извлечение ценных компонентов (включая технологическую переработку сырья) и наименьшие затраты при переработке.

Исходя из специфики эксплуатации, системы при подземном способе работ делят на системы разработки россыпных, рудных и нерудных месторождений.

Рудные месторождения отличаются исключительным разнообразием и сложностью разработки, поэтому число применяемых систем и их вариантов в практике разработки этих месторождений весьма значительно — более 200.

Согласно принятой в настоящее время классификации систем (по М. И. Агошкову), выделяют восемь классов (табл. 1), характеризующихся состоянием выработанного пространства в период ведения очистной выемки. Порядок выемки определяют четыре группы систем (рис. 4).

Первая группа систем — выемка руды блоками. При данной группе систем все тело или этаж разделяют на отдельные блоки, вынимаемые во всей площади без оставления целиков. Для второй группы систем характерна в первую очередь выемка руды камерами по простиранию или вкрест простирания с оставлением целиков, которые вынимаются во вторую очередь. При третьей группе систем рудное тело на блоки, камеры и целики не разделяют и очистную выемку производят в каком-либо одном или нескольких направлениях (от центра к флангам, от флангов к центру или одновременно по всей площади рудного тела). Четвертая, камеро-столбовая группа систем означает, что вынимают только камеры, а целики — столбы оставляют (постоянные целики). Системы разработки с открытым очистным пространством (класс I) отличаются тем, что очистное пространство в процессе выемки не закрепляется, а остается открытым и поддерживается постоянными или временными целиками руды или реже искусственными

столбами. Применяемая при некоторых системах крепь является временной или имеет вспомогательное значение.

Основное условие применения систем с открытым очистным пространством — значительная устойчивость руды и вмещающих пород, которая допускает большие площади обнажения.

Системы с открытым очистным пространством эффективны и разнообразны, их широко применяют при разработке рудных месторождений. Этими системами добывают около 25% железных руд и около 30% руд цветных металлов.

Примером может служить система разработки блоками с распорной крепью и сплошной выемкой руды по восстанию. Эта система широко применяется при разработке жильных месторождений, особенно руд золота и редких металлов (удельный вес системы при разработке золоторудных жил составляет 20%).

Условия применения системы: устойчивая руда и вмещающие породы; угол падения более 45—50°; мощность рудного тела от 0,6 до 1—1,2 м и более (ширина очистного пространства при распорной крепи не должна превышать 3 м).

Рудное тело при этой системе (рис. 5) вынимают этажами средней высотой 30—50 м. Каждый этаж по простиранию разделяют на блоки длиной 30—50 и (иногда до 80—100 м). На рис. 5 показан вариант рассматриваемой системы с проходкой в блоке одного восстающего, второй восстающий наращивают в процесс продвижения очистной выемки. Шпуры бурят телескопными перфораторами, отбитая руда под действием собственного веса сбрасывается к люкам. Распорную крепь устанавливают рядами в соответствии с высотой слоя, равной 2—2,5 м. На схеме приведен вариант без устройства рудоспусков, однако при данной системе возможен вариант и с перепуском руды через рудоспуски и сбрасыванием отсортированной породы в пространство между рудоспусками.

Системы разработки с магазированием руды в очистном пространстве (класс II). При этой системе большую часть отбитой руды оставляют на длительный срок в очистном пространстве — в магазинах. Объем руды после ее отбойки увеличивается (коэффициент разрыхления 1,4—1,6). Поэтому периодически после каждого обрушения руды выпускают такое ее количество, чтобы свободное пространство между поверхностью отбитой руды и кровлей забоя было достаточным для проведения последующих работ.

Системы с магазинированием весьма эффективны. Главным условием их применения является устойчивость руды и вмещающих пород, достаточная для отбойки и выпуска руды без обрушения и отслоения вмещающих пород. Кроме того, необходимо, чтобы в рудном теле отсутствовали включения пустой породы и руда была однородной (возможности сортировки руды весьма ограничены), имелись правильные контакты рудного тела с вмещающими породами, руда не слеживалась и не само-

возгоралась при длительном хранении в магазинах. Угол падения рудного тела должен быть не менее 50—55°, за исключением весьма мощных месторождений, где системы с магазинированием применяют и при меньших углах падения.

Удельный вес систем с магазинированием руды при разработке жильных месторождений руд цветных металлов и золота в последние годы составляет свыше 60%. Это в основном месторождения мощностью от 0,3—0,5 до 2—3 м.

Имеется несколько разновидностей систем разработки с магазинированием руды. Развитие и последовательность работ при системе разработки с магазинированием руды камерами по простиранию приведены на рис. 65.

Каждая система разработки характеризуется своими технико-экономическими показателями, к которым относятся: коэффициент извлечения руды (0,80—0,97); коэффициент разубоживания (0,03—0,3); производительность забойного рабочего (1,5—80 т/смену); расход крепежного леса, расход ВВ и др.

Выбор наиболее эффективной системы разработки, отвечающей основным требованиям — безопасности, экономичности и производительности, является одним из важнейших вопросов при разработке рудных месторождений. Порядок выбора системы разработки следующий. В первую очередь отбирают возможные системы, исходя из горно-геологических и горнотехнических факторов. Отбор делают по таблице, в которой перечисляют основные факторы, их характеристики и возможные системы разработки.

Вначале выбирают возможные для применения классы систем разработки, затем возможные системы разработки, относящиеся к отобранным классам.

Возможные системы разработки по каждому из факторов отмечают в таблице условным номером, исходя из заранее составленной нумерации систем разработки. Просматривая отмеченные в таблице номера систем разработки по каждому фактору, отбирают системы, пригодные для применения в условиях разработки данного месторождения. Число систем, отвечающих всем факторам, обычно не превышает двух-трех.

Окончательно выбирают наиболее эффективную систему по технико-экономическим показателям. Техничко-экономическое сравнение систем можно производить по их рентабельности, исходя из стоимости извлекаемых полезных компонентов по государственным ценам и технологических затрат на добычу и переработку руды.

2. ОТКРЫТАЯ РАЗРАБОТКА

Открытые разработки месторождений полезных ископаемых по сравнению с подземными имеют ряд преимуществ: а) стоимость добычи полезного ископаемого значительно ниже, чем при подземной; б) работа на

открытом воздухе менее вредна для здоровья. Поэтому в последние годы удельный вес открытых работ значительно увеличился.

Открытая разработка месторождений осуществляется в следующих случаях:

1. При залегании полезного ископаемого непосредственно на поверхности, например добыча кирпичных суглинков из многих месторождений, выемка (выламывание) соли с поверхности высохшей части озера и т. д. (рис. 7а).

2. При горизонтальном залегании тел полезного ископаемого под покрывающими породами, если выемка и уборка покрывающих пород (вскрыша) целесообразны и экономически допустимы (см. рис. 7б). Дешевые полезные ископаемые (например, строительные камни) допускают отношение мощности вскрыши к мощности тела полезного ископаемого не более 1:1, слои с фосфоритами разрабатываются открытым способом даже при соотношении 5:1, руды цветных металлов допускают соотношение 10—15:1 и более.

3. При крутом или пологом падении, когда тело полезного ископаемого залегает близко к поверхности или выходит на поверхность. В этих случаях верхняя часть тела полезного ископаемого добывается открытыми работами, причем лежащий бок тела нередко служит бортом карьера, а висячий бок идет во вскрышу (см. рис. 7в). Глубина разработки определяется также соотношением объема вскрышных пород к объему полезного ископаемого.

4. При залегании полезного ископаемого на небольшой глубине под водой или в обводненных породах — вскрыша и полезное ископаемое вынимаются совместно, так как разделение их при подводной добыче невозможно или крайне затруднительно. Отделяется полезное ископаемое уже после выемки горной массы.

Открытые системы разработок представляют собой карьеры определенной формы или выемки, неправильные по форме при подводных разработках.

Вскрытие месторождений, как правило, осуществляется предварительно проводимой траншеей, которая иногда служит также дренажной канавой, осушающей месторождение от грунтовой или поверхностной воды, а также трассой для подхода транспорта.

Подготовка месторождения состоит в снятии и уборке покрывающих пород (вскрыша и разнос бортов карьера часто продолжаются при отработки залежи и добыче руды).

Добычные работы в карьерах ведутся в большинстве случаев по системе уступов. Высота уступов зависит от мощности тела полезного ископаемого, устойчивости бортов, требований к технике безопасности, применяемых механизмов и ряда других причин. Обычно высота уступов составляет 5—10 м и редко при благоприятных условиях и большой производительности карьеров — 15 м.

Открытые разработки месторождений полезных ископаемых могут производиться либо ручным, либо механизированным способом.

Ручная разработка предусматривает проведение всех стадий работ (вскрытие, подготовку и добычу) ручным способом, с применением кайловых, лопатных, клиновых и взрывных работ, с ручной погрузкой пород в автомашины или вагонетки. Такая разработка обычно ведется на малых карьерах при небольшом количестве добываемых дешевых полезных ископаемых (например, бутового камня для местных нужд, некоторых месторождений кирпичных глин и др.).

Механизация открытых работ может быть частичной или полной. При частичной механизации может быть, например, экскаваторная вскрыша, или только механическое бурение шпуров, тогда как остальные операции будут ручными. Полная механизация охватывает все стадии— вскрытие, подготовку (уборку наносов), добычу, погрузку и откатку полезного ископаемого из карьера.

При механизации открытых работ широко применяются одноковшовые и многоковшовые экскаваторы. При работе в мягких породах экскаватор отделяет породу от массива и переносит ее в отвал или на транспорт. При работе в твердых породах в забоях предварительно производят взрывные работы (обычно массовые взрывы), а экскаваторы забирают оторванные породы и погружают на автомашины, в вагонетки или другие транспортные средства.

При разработке месторождений открытым способом также возможно применение большого количества систем. Г. Н. Попов все известные системы открытых разработок подразделяет на четыре группы по признаку перемещения вскрышных пород (табл. 2).

Для подводной добычи со дна водоемов широко используют многоковшовые экскаваторы — драги с нижним черпанием.

В последнее время стали широко использовать земснаряды для добычи рыхлых и сыпучих пород (песков, гравия, торфа и др.) в обводненных участках или со дна водоемов. Земснаряд представляет собой плавающий понтон, с которого до дна опускается всасывающая труба с коронкой (рыхлителем) на конце. Труба соединяется на борту понтона с мощным центробежным насосом, который при работе засасывает со дна породу с водой, поднимает и транспортирует ее по напорным (нагнетательным) трубам обычно диаметром до 0,6—1 м вверх на берег или на баржи. Подобные земснаряды могут поднимать породы с глубины 10—12 м, при необходимом соотношении засасывающей породы и воды (1 : 20— для песков, 1 : 30 — для гравия).

В некоторых случаях для снятия вскрышных пород, а иногда и для добычи продуктивных пород производятся гидравлические работы. При этом используется вода под большим напором для размывания (разрушения) и смывания (переноса) мягких и сыпучих пород. Перед началом работ должен быть создан водоем или большой резервуар для воды, расположенный

значительно выше места работ для обеспечения напора воды, или установлена мощная насосная станция. Затем вода по трубам движется вниз к водораспределителю и от него по шлангам доходит до водобоев. Водобои, укрепленные на концах шлангов, представляют собой конические насадки, которые подают уплотненную струю воды на породу.

Эксплуатация гидравлическим способом возможна в породах сыпучих или мягких, например при разработке россыпей, где песок можно смыть и направить в промывочный шлюз для улавливания полезного ископаемого (золота, платины и др.).

3. ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.

Геотехнологические методы основаны на выщелачивании или растворении в подземных условиях полезных ископаемых и перевод их в растворы и затем получении из них конечного продукта. Наиболее широко эти методы используются при разработки солей, особенно калийной. Более сложна отработка месторождений калийных солей подземным растворением через скважины с поверхности земли

Разработка полезных ископаемых геотехнологическими методами дает возможность: 1) полностью освободить человека от работы под землей; 2) механизировать и автоматизировать весь комплекс работ по добыче и переработке сырья; 3) снизить капитальные затраты, связанные с вскрытием и подземной разработкой месторождений; 4) эксплуатировать месторождения на больших глубинах, недоступных шахтным способом, а также месторождения со сложными гидрогеологическими условиями.

Впервые разработка KCl-солей методом выщелачивания (рис. 7) в промышленных масштабах было опробовано фирмой «Калиум Хемиклз» в Канаде на Саскачеванском месторождении в 1967 г (провинция Саскачеван, близ г. Реджайна).

Применение метода выщелачивания было обусловлено рядом причин:

1. Богатейшие запасы сильвинита высокого качества со средним содержанием хлористого калия 30% и даже 50% . Мощность калиеносной зоны из трех пластов до 30 м.
2. Большая глубина залегания пластов (до 1600 м) в то время как шахтным способом целесообразна проходка до глубины 1200 м.
3. Трудности проходки шахтных стволов, связанные с сложным гидрогеологическим строением (наличие песков – плывунов).
4. Большие потери сильвинита в целиках (до 70%) при шахтной системе отработки
5. Меньшие сроки ввода предприятия в эксплуатацию

Методом выщелачивания калийные соли добываются также в США (штат Юта, Кейн-Крик), Туркменистане (Карлюкское месторождение).

При выщелачивании сильвинита важное значение имеет растворимость хлористого калия и хлористого натрия в воде. В холодной воде можно

растворить больше NaCl, чем KCl. С повышением температуры растворимость KCl резко возрастает, а растворимость NaCl увеличивается незначительно.

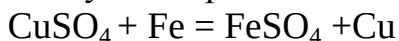
При подземном выщелачивании сильвинитовых залежей основная задача состоит в получении рассолов с высоким содержанием хлористого калия. Достичь такого состава рассолов можно двумя путями:

1) Избирательное растворение хлористого калия с частичным растворением хлористого натрия в камере. Избирательное выщелачивание может протекать изотермически либо политермически. Первое предусматривает использование в качестве растворителя насыщенного раствора хлористого натрия. Такой растворитель может растворять хлористый калий без изменения температуры. Второй, способ основан на разной растворимости KCl и NaCl при повышении температуры.

2) Полное (совместное) растворение хлористого калия и хлористого натрия. При полном растворении используется в качестве флюида вода, либо растворы KCl NaCl, с таким содержанием компонентов, что бы раствор был довольно агрессивным и мог растворять хлористый калий.

Методы подземного выщелачивания применяются при разработке цветных металлов, урана и других полезных ископаемых. В качестве примера рассмотрим медь.

Извлечение меди методом выщелачивания не является новым процессом, впервые этот метод был применен еще в XVI в. В настоящее время имеется большое количество установок для извлечения меди из рудоносных вод, содержащих медь в виде медного купороса (CuSO_4) в количестве до 1-5 г/л (в среднем 1-2 г/л). Простой и сравнительно дешевый процесс растворения идет по следующей реакции:



Процесс осаждения меди производится в заполненных железным скрапом желобах или чанах. Выгрузка из них цементной меди производится периодически.

Извлечение меди из раствора составляет при правильной постановке работ не менее 90 % (иногда достигая 99%, как, например, на руднике Рэй в США). Расход скрапа составляет в среднем 1.2 кг на 1 кг извлеченной меди. На этом методе основано применение выщелачивания для извлечения меди непосредственно из месторождений медных руд.

Для эксплуатации рудных месторождений методом выщелачивания необходимы следующие условия:

А) Растворимость (или выщелачивание) рудного минерала в воде или слабом растворе серной кислоты.

Б) Проницаемость рудной массы для растворителя (наличия трещин, раздробленность руды) и возможность равномерного ее омывания.

В) отсутствие каналов , позволяющая растворителю протекать, не оmyвая всей рудной массы.

Два из данных условий могут быть обеспечены искусственным путем.

В качестве объектов для извлечения меди методом выщелачивания могут быть использованы:

- 1) месторождения с бедным содержанием Cu. Невыгодное для разработки подземным способом.
- 2) аварийные участки с повышенной раздробленностью руды (участки разрушенных целиков).
- 3) старые рудники с неизвлеченной рудой.
- 4) отвалы медносодержащих пород на поверхности земли.

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР СПОСОБА И СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

Для правильного выбора способа и системы разработки месторождения необходимы определенные сведения о месторождении, о характере тел полезных ископаемых, свойствах полезного ископаемого и вмещающих пород.

По числу содержащихся полезных компонентов руды делят на простые, содержащие только один компонент, и полиметаллические, содержащие несколько компонентов.

Но ценности руды могут быть богатые, средней ценности и бедные. Измерителем ценности служит: валовая ценность, под которой принято понимать стоимость по отпускной цене полезных компонентов, содержащихся в 1 т руды; извлекаемая ценность — стоимость полезных компонентов, извлекаемых из 1 т руды. Извлекаемая ценность всегда меньше валовой за счет потерь части полезных компонентов в процессе переработки.

Валовая ценность оказывает очень большое влияние на выбор способа разработки месторождения. Большая валовая ценность допускает в необходимых случаях применение более дорогих способов разработки, позволяющих сократить до минимума потери руды и полезных компонентов при добыче. Напротив, для невысокой валовой ценности руды приходится применять наиболее дешевые способы разработки, хотя бы они и сопровождались повышенными потерями.

Экономические результаты эксплуатации месторождения характеризуются разницей между извлекаемой ценностью и расходами по добыче и переработке 1 т руды до получения из нее металла (или другого готового продукта).

Иногда разработку производят селективно, добывая в первую очередь богатую (по ценности), первосортную руду и направляя ее непосредственно в плавку, а более бедные руды отрабатывают после богатых и направляют их на обогащение.

Изменчивость содержания металла (или другого компонента) в руде существенно отражается на способе разработки месторождения. При резком незакономерном изменении содержаний полезного компонента и руде система разработки должна обладать большой гибкостью, т. е. допускать

выемку руды по отдельным технологическим сортам, отдельную выемку руды и пустой породы, выборку в забое примешанной к взорванной руде пустой породы, если ее нельзя вынуть отдельно от руды, оставление в недрах невыработанными участков с непромышленной рудой и пустыми породами. Для определения промышленных контуров руды в этих случаях приходится проводить тщательное эксплуатационное опробование.

По объемному весу руды делятся на: тяжелые — с объемным весом больше $3,5 \text{ т/м}^3$, средние — от $2,5$ до $3,5 \text{ т/м}^3$ и легкие — ниже $2,5 \text{ т/м}^3$.

По кусковатости руды выделяют: мелочь — от рудной пыли до кусков с поперечным размером 100 мм ; руду средней крупности — от 100 до $250\text{—}300 \text{ мм}$; крупнокусковатую — от 300 до 500 мм ; очень крупную — более 500 мм .

По строению руды делят на: массивные (плотные без трещин и слоистости), трещиноватые, слоистые и рыхлые.

Склонность некоторых руд к слеживанию, окислению, возгоранию и самовозгоранию, смерзанию, удерживанию влаги и др. затрудняет разработку месторождения.

Крепость горных пород непосредственно влияет на выбор способа разработки месторождения и применяемых машин при добыче, на производительность труда, расход материалов и стоимость добычи.

Устойчивость горных пород выражается в способности их массива не обрушаться, когда он подработан и обнажен снизу и с боков. Устойчивость руды и вмещающих пород оказывает столь большое влияние на выбор систем разработок, что в основу большинства классификаций систем подземной разработки рудных месторождений принят способ поддержания массива пород вокруг выработанного пространства, который в свою очередь зависит от устойчивости пород.

Форма тел полезных ископаемых оказывает большое влияние на разработку. Разработка тел полезных ископаемых правильной формы сопровождается меньшими трудностями, чем неправильных, контуры которых резко изменяются.

Характер границ — контактов тел полезных ископаемых с вмещающими породами является очень важным показателем. В одних случаях контакт выражен резко, в других — переход от руды в пустую породу постепенный, и отчетливых границ тела не наблюдается. Месторождения первого типа принято называть простыми, второго — сложными.

Часто месторождение бывает представлено не одним, а несколькими телами полезных ископаемых. Эти совместно залегающие тела могут быть изолированы одно от другого, разделены вмещающими породами и не связаны между собой; иногда они пересекают друг друга или соединяются вместе и снова разъединяются; иногда одно тело является основным, а остальные — его ветвями (апофизами).

Месторождения могут залегать спокойно или могут быть нарушены сбросами, сдвигами и пр. Эти нарушения иногда разрывают тело полезного

ископаемого на отдельные части, в результате чего месторождение приобретает сложную форму. Влияние совместного залегания нескольких тел и геологических нарушений на выбор способа разработки очень велико.

Мощность и угол падения тел полезных ископаемых оказывают решающее влияние на выбор системы разработки. По мощности тела делят на пять групп:

1) весьма тонкие — с мощностью менее 0,7 м, при разработке которых проходка подготовительных выработок и очистная выемка сопровождаются подрывкой вмещающих пород;

2) тонкие — с мощностью 0,7—2,0 м, при разработке которых очистная выемка может производиться без подрывки вмещающих пород, но проведение горизонтальных подготовительных выработок в большинстве случаев требует подрывки;

3) средней мощности — от 2 до 5 м, подрывка вмещающих пород не производится как при очистной выемке, так и в подготовительных выработках. Верхняя граница мощности 5 м соответствует предельному ее значению для применения распорной крепи;

4) мощные — от 5 до 15—20 м, очистная выемка которых при крутом падении может производиться по простиранию на всю мощность;

5) весьма мощные — более 15—20 м, при очистной выемке эти месторождения разделяют на блоки по мощности или же выемку производят вкрест простирания.

По углу падения месторождения делят на:

1) горизонтальные и пологопадающие с углом падения от 0 до 25—30°;

2) наклонные с углом падения от 25 до 45°;

3) крутопадающие с углом падения свыше 45°.

Это деление, так же как и деление по мощности, связано с существенными изменениями условий разработки и применением при разных углах падения различных способов очистной выемки.

Приведенные основные сведения о месторождениях, необходимые для правильного выбора способа и системы его разработки, должны быть получены в процессе разведки и изучения месторождения.

Более того, при проведении горноразведочных выработок значительной глубины или длины необходимо учитывать условия будущей эксплуатации месторождения. Иногда разведка сочетается с начальной стадией эксплуатации месторождения. В таких случаях некоторые этапы вскрытия месторождения и проведения подготовительных выработок выполняются разведчиками, так как разведочные выработки одновременно являются и вскрышными или подготовительными.

Поэтому при заложении крупных разведочных шахт должны учитываться такие условия, как: 1) центр сосредоточения грузов при будущей откатке и доставке полезного ископаемого по подземным выработкам; 2) необходимость оставления околошахтного целика; 3) рельеф поверхности

эксплуатационного участка. Если разведочные выработки не будут использованы в качестве основных эксплуатационных выработок, они могут сыграть существенную роль для вентиляции, в качестве запасного выхода и т. д.

Исходя из соображений максимального использования разведочных выработок при эксплуатации месторождения, нужно выбирать и соответствующее сечение выработок, уклоны и необходимое оснащение. При выборе расстояний между разведочными горизонтами или расстояний между разведочными штольнями и штреками по вертикали следует руководствоваться нормальной высотой эксплуатационного этажа (40—60 м). Проходку вертикальной шахты предпочтительнее осуществить в лежащем боку крутопадающей залежи, так как при расположении в висячем боку часть залежи попадает в целик.

ПРИЛОЖЕНИЕ

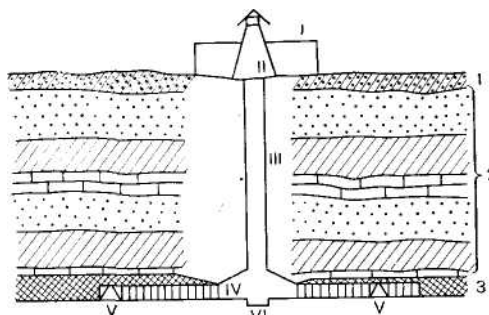


Рис. 1. Вскрытие месторождения шахтой со штреками

1 — наносы; 2 — вмещающие породы; 3 — уголь; I — надшахтное здание; II — устье шахты; III — ствол шахты; IV — рудничный двор; V — штреки; VI — зумпф



Рис. 2. Вскрытие месторождения шахтой с квершлагами



Рис. 3. Подготовка этажей

1—7 — блоки полезного ископаемого в пределах подготовительных выработок (штреков, восстающих)

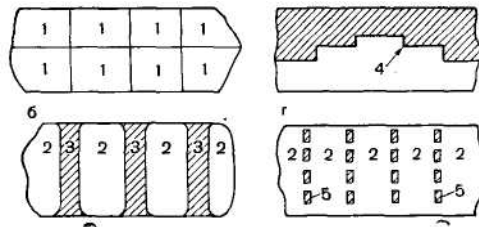


Рис. 4. Схемы рудных тел в плане к определению групп систем *а, б, в, г*

1 — блоки; 2 — камеры; 3 — целики (междукамерные); 4 — линия сплошной выемки; 5 — столбы

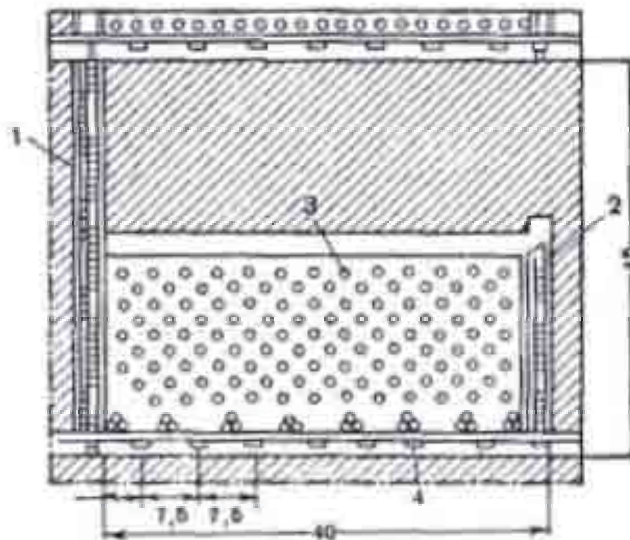


Рис. 5. Система с распорной крепью и сплошной выемкой блока по восстанию

1 — восстающий, пройденный в два отделения;
2 — восстающий, наращиваемый в два отделения;
3 — настил; 4 — люки

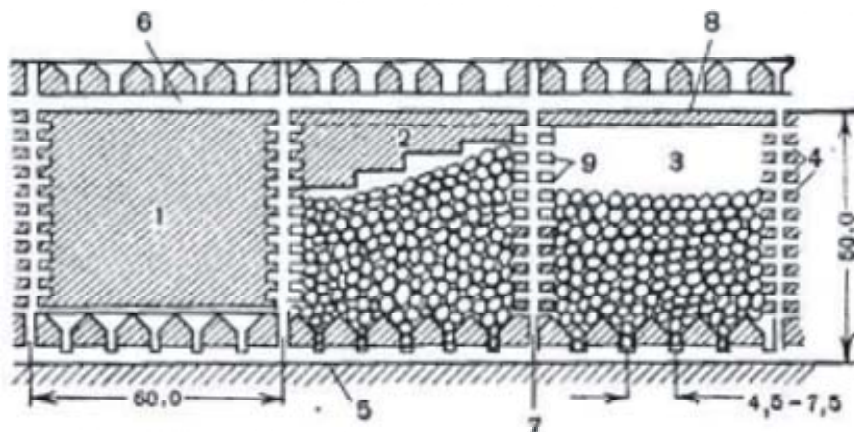


Рис. 6. Развитие работ при системе разработки с magazинированием руды камерами по простиранию 1 — камера в стадии законченных подготовительных и нарезных работ; 2 — камера в стадии magazинирования руды; 3 — камера в стадии выпуска руды из magazина; 4 — ходки; 5 — откаточный штрек; 6 — вентиляционный штрек; 7 — восстающий; 8 — потолочина; 9 — междукамерный целик

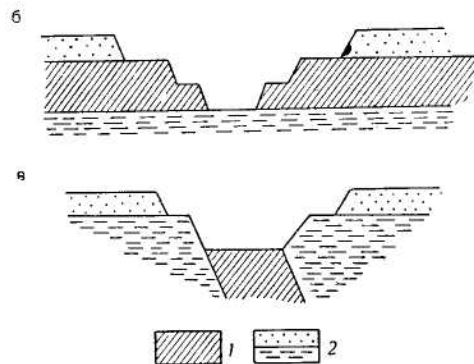


Рис. 7. Открытая разработка (карьерами)

а — карьер с одним уступом; б — карьер с тремя уступами; в — карьер при крутом падении тела.
1 — тело полезного ископаемого; 2 — вскрышные и вмещающие породы

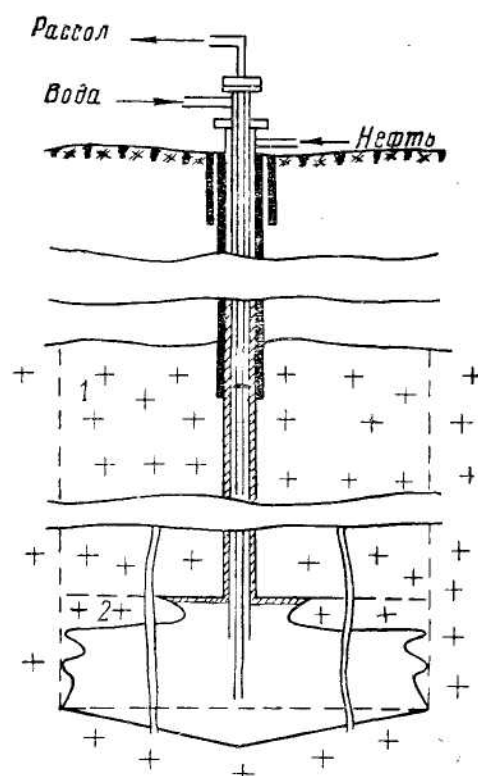


Рис. 7. Конструкция камеры подземного выщелачивания

Табл. 1. Классификация подземных систем разработки

Клас-сы	Наименование классов	Применяемые группы систем
I	Системы с открытым очистным пространством	1, 2, 3, 4
II	Системы с магазинированием руды в очистном пространстве	1, 2, 3
III	Системы с закладкой очистного пространства	1, 2
IV	Системы с креплением очистного пространства	1
V	Системы с креплением и закладкой очистного пространства	1, 2, 3
VI	Системы разработки с обрушением вмещающих пород	1
VII	Системы с обрушением руды и вмещающих пород	1
VIII	Системы комбинированные	2

Табл. 2. Классификация открытых систем разработки

Группы систем разработки	Наименование системы разработки по признаку перемещения пустых пород
Бестранспортные системы разработки с перевалкой вскрыши и с поперечным перемещением ее в отвал	Системы с непосредственной экскаваторной перевалкой вскрыши То же, с кратной экскаваторной перевалкой вскрыши. То же, с перевалкой вскрыши консольными или мостовыми отвалообразователями
Транспортные системы разработки с перевозкой вскрыши и с продольным перемещением ее в отвал	Системы с перевозкой породы во внутренние отвалы. То же, во внешние отвалы. То же, во внутренние и внешние отвалы
Комбинированные системы разработки с перевалкой и перевозкой вскрыши, с поперечным и продольным перемещением породы в отвал	Системы с перевалкой породы во внутренние отвалы и частичной перевозкой во внешние отвалы. Системы с перевозкой породы во внешние отвалы и частичной перевалкой породы во внутренние отвалы
Системы разработки с незначительным объемом вскрышных работ, способные перемещения породы в отвал не имеют существенного значения	

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для оконтуривания промышленных участков тел полезных ископаемых при их поисках, разведке и подсчете запасов необходимо знать требования промышленности к качеству минерального сырья и к горнотехническим условиям разработки месторождений, т. е. промышленные кондиции.

Промышленное месторождение — понятие геолого-экономическое. Ряд вопросов геолог не может решить самостоятельно — необходимо участие других специалистов (горняков, технологов, экономистов). Например, при мощности рудного тела 1,5—2,0 м и более оно безусловно может быть отработано, но рудное тело мощностью 0,10 м уже самостоятельно отработать затруднительно. Технически, очевидно, можно отработать рудное тело и мощностью 0,05 м, но важно, чтобы отработка была экономически целесообразной. Определить мощность рудного тела, которую в данных конкретных условиях экономически целесообразно отрабатывать, можно, только зная горное дело, системы разработки месторождений и их экономические показатели.

Для того чтобы правильно оконтурить тела полезных ископаемых, определить их запасы и дать промышленную оценку месторождений, необходимо иметь ряд показателей, обоснованных специальными технико-экономическими расчетами.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Кондиции на минеральное сырье устанавливаются для определения промышленной ценности месторождений и подсчета их запасов полезных ископаемых. Они представляют собой совокупность экономически обоснованных требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям разработки месторождений. Параметры кондиций — предельные значения натуральных показателей для подсчета запасов — должны иметь геологическое, горнотехническое, технологическое и экономическое обоснование.

1.2. Кондиции разделяются на временные и постоянные.

Временные кондиции разрабатываются по результатам предварительной разведки месторождений и утверждаются заинтересованными отраслевыми министерствами.

Постоянные кондиции разрабатываются по результатам деталь-поп разведки, для эксплуатируемых месторождений — по результатам их разработки, эксплуатационной разведки, доразведки и утверждаются ГКЗ, а для месторождений, утверждение запасов по которым возложено на ТКЗ, — соответствующими ТКЗ (за исключением отступлений, предусмотренных специальными решениями директивных органов).

Постоянные кондиции должны обеспечивать комплексную гео-, юго-экономическую оценку запасов полезных ископаемых в недрах и максимальную полноту экономически эффективного для данного района или народного хозяйства страны использования этих запасов. Постоянные кондиции должны соблюдаться при разработке проектов строительства (реконструкции) добывающих и перерабатывающих предприятий, планировании и проведении горно-эксплуатационных работ, решении вопросов, связанных с охраной недр и окружающей среды.

1.3. Техничко-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных кондиций выполняется для всех детально разведанных месторождений или участков крупных месторождений, намечаемых к отработке самостоятельными предприятиями по добыче полезных ископаемых.

1.4. При разработке постоянных кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых должны соблюдаться положения Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.

1.4.1. Для полезных ископаемых, которые могут быть использованы в различных областях народного хозяйства, определяется сфера их наиболее рационального и эффективного применения в соответствии с потребностями отрасли, экономического района, страны в целом и с учетом требований государственных, отраслевых стандартов и технических условий к качеству минерального сырья. Для комплексных месторождений должно быть предусмотрено использование как основных, так и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, а также содержащихся в них компонентов. В расчетах, обосновывающих параметры кондиций, оценивается и при положительных результатах учитывается возможность использования отходов производства, получаемых по рекомендованной технологии добычи и переработки минерального сырья. Оценивается возможность использования подземных вод, участвующих в обводнении месторождения, для водоснабжения или извлечения из них полезных компонентов.

1.4.2. По месторождениям, подлежащим передаче для промышленного освоения, соотношения категорий запасов полезных ископаемых (основных компонентов в комплексных рудах), принятых при обосновании кондиций, должны соответствовать установленным Классификацией для различных групп месторождений твердых полезных ископаемых.

Возможность использования в ТЭО и при расчетах параметров кондиций запасов, соотношение категорий которых меньше принятых Классификацией нормативов, а также запасов категории Сг для месторождений (участков) 1-й и 2-й групп и запасов этой категории сверх установленных нормативным соотношением для месторождений (участков) 3-й и 4-й групп должна быть подтверждена специальным обоснованием.

На разрабатываемых месторождениях соотношение категорий запасов, положенных в основу ТЭО кондиций, может быть меньше нормативного и устанавливается соответствующим горнодобывающим министерством.

Обязательной является оценка промышленного значения и перспектив освоения всех разведанных на месторождении запасов (включая запасы категории C_2), находящихся за контурами той его части, которая согласно ТЭО кондиций намечается для освоения: параметры для их подсчета и группа запасов (балансовые или забалансовые) определяются на основании укрупненных технико-экономических расчетов.

1.4.3. В ТЭО кондиций должны быть выделены участки и горизонты, намечаемые к первоочередной отработке. Запасы на таких участках и горизонтах месторождений 1-й и 2-й групп Классификации должны быть разведаны преимущественно по категориям А+В и В (соответственно), а на месторождениях 3-й и 4-й групп — по категории C_1

1.1.4. Запасы месторождения, не использованные в расчетах основных технико-экономических показателей работы предприятия при добыче полезного ископаемого (включая запасы категории C_2 и забалансовые), а также находящиеся вблизи неосвоенных месторождений, нужно учитывать при определении возможных перспектив развития предприятия, предельной глубины и площади разработки, выборе способа вскрытия и места заложения шахтных стволов, контуров карьера, расположения сооружений, подъездных путей и отвалов, решении других вопросов, связанных с промышленным освоением месторождения.

1.4.5. Вещественный состав и технологические свойства полезных ископаемых должны быть изучены с детальностью, которая обеспечивает получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их переработки с комплексным извлечением заключенных в них компонентов, имеющих промышленное значение. Целесообразность извлечения и промышленного использования каждого из попутных компонентов следует определять на основании технико-экономических расчетов.

1.4.6. Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические, геокриологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, позволяющей получить исходные данные, необходимые для составления проекта разработки месторождения (участка).

1.4.7. Твердые полезные ископаемые, залегающие совместно с основными, должны быть изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможного народнохозяйственного использования. При наличии потребителя их запасы должны быть детально разведаны и подсчитаны в соответствии с требованиями, предусмотренными для соответствующих видов полезных ископаемых.

Если совместно залегающие полезные ископаемые будут извлечены при добыче основного полезного ископаемого, то производятся технико-экономические расчеты, обосновывающие кондиции для их подсчета и соответствующие параметры.

Кондиции для подсчета запасов вскрышных и вмещающих основные полезные ископаемые пород, пригодных для народнохозяйственного

использования, утверждаются во всех случаях одновременно с кондициями для подсчета запасов основных полезных ископаемых. Возможность использования вскрышных и вмещающих пород и параметры кондиций должны определяться применительно к принятой технологии удаления вскрышных пород и добычи основных полезных ископаемых. Необходимость и целесообразность селективной выемки каких-либо частей разреза вскрыши (вмещающих) пород, заключающих дефицитные или ценные пилы сырья, если мощность этих частей меньше принятой в технологической схеме удаления пород вскрыши, должна быть доказана специальными технико-экономическими расчетами.

При наличии потребности в сырье, которое может быть получено из вскрышных или вмещающих пород как попутное полезное ископаемое (по согласованию с соответствующими плановыми органами или министерствами-потребителями), технико-экономические показатели извлечения такого сырья и получения из него товарной продукции учитываются при разработке ТЭО кондиций в показателях основного производства. Кондиции устанавливаются по материалам детального изучения продуктивных частей разреза вскрышных или вмещающих пород.

В остальных случаях кондиции для подсчета балансовых запасов вскрышных и вмещающих пород с определенной по имеющимся данным промышленной ценностью устанавливаются ПО укрупненным технико-экономическим показателям и с учетом опыта добычи и использования соответствующего вида сырья на аналогичных месторождениях.

1.5. При разработке постоянных кондиций для подсчета запасов природных битумов должны соблюдаться положения Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов нефтяных природных битумов.

1.6. При разработке кондиций для подсчета эксплуатационных запасов теплоэнергетических и промышленных вод должны соблюдаться положения Классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод.

1.6.1. Принятые для обоснования кондиций запасы, удовлетворяющие заявленную первоочередную потребность в воде для строительства новых или реконструкции действующих водозаборных сооружений и предприятий, должны иметь соотношение различных категорий, установленное Классификацией. Возможность использования в ТЭО кондиций запасов при соотношении категорий меньше установленных Классификацией нормативов должна быть подтверждена специальным обоснованием.

Разведанные в пределах месторождений (участков) запасы категории C_1 , не использованные в расчетах основных технико-экономических показателей работы водозаборных сооружений и предприятий, необходимо учитывать при определении возможных перспектив расширения водозаборных сооружений, а также при выборе сечения водоводов и мощности насосных станций, определении глубины и конструкции эксплуатационных скважин, установлении зон санитарной охраны и

разработке мероприятий по охране водозаборных участков от застройки и загрязнения. Выявленные в процессе поисков и разведки запасы категории С₁ учитываются при составлении схем комплексного использования и охраны вод, водохозяйственных балансов и при планировании дальнейших разведочных работ на подземные воды.

1.6.2. В ТЭО кондиций должна быть рассмотрена возможность комплексного использования промышленных и теплоэнергетических вод как по заданному направлению, так и для иных целей (и качестве лечебных, минеральных и др.), оценено влияние намечаемого к сооружению водозабора за расчетный срок водопотребления на существующие водозаборы, а также на поверхностные водные источники, экологические и другие природные условия данного района.

1.6.3. Качество вод должно быть изучено по всем показателям и соответствии с требованиями целевого использования их в народном хозяйстве; необходимо доказать, что в течение расчетного срока водопотребления оно будет постоянным или изменится в допустимых пределах.

1.6.4. Технологические свойства промышленных и теплоэнергетических вод должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования теплоэнергетических производств и технологической схемы переработки вод по заданному назначению с комплексным извлечением из них компонентов, имеющих промышленное значение.

1.6.5. Условия эксплуатации подземных вод должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения (участка).

1.7. Разработка ТЭО кондиций производится на основе применения существующей или осваиваемой промышленностью прогрессивной техники и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением существующих законодательных положений в области охраны недр и окружающей среды.

1.8. Постоянные кондиции подлежат переутверждению:

— при пересмотре требований стандартов или технических условий к качеству добываемых полезных ископаемых и технологии переработки минерального сырья, если это существенно отражается на планируемом направлении использования месторождения, экономике, масштабах добычи полезных ископаемых и переработки минерального сырья;

— при необходимости переутверждения в ГКЗ запасов разрабатываемых месторождений с учетом материалов, полученных в процессе разработки, и данных дополнительно проведенных геологоразведочных работ в случаях, предусмотренных Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, Классификацией эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод и Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов нефтяных природных битумов;

— при создании условий для экономически оправданного перевода забалансовых запасов в балансовые, если это существенно отражается на показателях экономической эффективности и производственных мощностях предприятий по добыче полезных ископаемых и переработке минерального сырья.

1.9. Пересчет запасов разрабатываемых месторождений ДЛЯ обеспечения материалами проектирования реконструкции действующего предприятия или дальнейшего развития горных работ может производиться по согласованию с ГКЗ (ТКЗ) по действующим кондициям, если изменения в количестве ранее утвержденных балансовых запасов не превышают установленных классификациями нормативов. В том же порядке могут подсчитываться запасы с целью расширения сырьевой базы предприятия на участках, прилегающих к горному отводу и аналогичных по геологическому строению, качеству сырья и горно-геологическим условиям разрабатываемому месторождению.

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНДИЦИЙ

2.1. В постоянные кондиции для подсчета балансовых запасов металлов и нерудного сырья включаются следующие параметры;

— *минимальное промышленное содержание полезного компонента*, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат на получение товарной продукции при нулевой рентабельности разработки. Оно должно устанавливаться применительно к подсчетному блоку. В отдельных случаях для месторождений дефицитных видов сырья при наличии специального геолого-экономического обоснования допускается использование величины минимального промышленного содержания для группы блоков или в целом по месторождению, если это не приведет к существенному ухудшению экономических показателей. Для месторождений твердых полезных ископаемых при соответствующих расчетных обоснованиях минимальное содержание полезного компонента в единичных блоках может устанавливаться меньшим, чем минимальное промышленное, установленное при нулевой рентабельности, если это не приведет к существенному ухудшению экономических показателей по месторождению в целом;

— *бортное содержание полезных компонентов в пробе*, устанавливаемое при отсутствии четких геологических границ рудного тела для оконтуривания запасов по его мощности (пересечению разведочной выработкой) на основе повариантных технико-экономических расчетов. Число вариантов и их «шаг» должны обеспечивать выбор оптимальной величины этого параметра. Как правило, используется не менее трех вариантов со значениями большими и меньшими по отношению к рекомендуемому;

— *минимальное содержание полезных компонентов по пересечению рудного тела (полезного ископаемого) выработкой* для оконтуривания

рудного тела (полезного ископаемого) по простираанию и падению, используемое наряду с бортовым и минимальным промышленным содержаниями во избежание неоправданного исключения из числа балансовых запасов краевых частей подсчетных блоков, содержание полезных компонентов в которых ниже минимального промышленного, не достаточно для покрытия предстоящих затрат по их добыче и переработке; определяется повариантными или прямыми технико-экономическими расчетами;

- *максимально допустимое содержание вредных примесей* и подсчетом блоке, по пересечению, интервалу или в пробе;

- *требования к выделению при подсчете запасов типов и сортов полезного ископаемого*, исходя из технологических свойств, определяющих различные способы переработки или различные области использования сырья. В необходимых случаях устанавливается минимальный выход товарной продукции и основного сорта сырья;

- *перечень попутных компонентов* (раздельно по технологическим типам полезных ископаемых), по которым необходимо подсчитывать запасы, в случае необходимости — минимальное содержание этих компонентов по пересечению или подсчетному блоку;

- *коэффициенты для приведения содержаний полезных попутных компонентов к условным содержаниям основного компонента*, минимальные содержания компонентов, учитываемые при таком

- *минимальный коэффициент рудоносности в подсчетном блоке* для месторождений с прерывистым или гнездовым распределением ценных компонентов, когда кондиционные руды по геологическим или горно-геологическим критериям не могут быть оконтурены и подсчет запасов производится в контурах рудоносной зоны (залежи, тела) статистически; при этом должны быть обоснованы условия оконтуривания рудоносной зоны (залежи, тела), а также возможность и целесообразность селективного способа разработки рудных обособлений, учитываемых с помощью коэффициента рудоносности;

- *минимальные мощности тел полезных ископаемых* (пластов, залежей, жил и т. д.) или соответствующий минимальный метро-процент (метрограмм), при необходимости — минимальные мощности полезного ископаемого по типам, сортам (маркам);

- *максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд*, находящихся внутри контура полезного ископаемого и включаемых в подсчет запасов;

- *минимальные запасы в изолированных (обособленных) телах* полезных ископаемых, участках;

- *максимальная глубина подсчета запасов, предельный коэффициент вскрыши* или максимально допустимое соотношение мощности вскрышных пород и полезного ископаемого; требования, предусматривающие

проведение подсчета запасов в установленных ТЭО контурах разработки, границы участков первоочередной отработки

- границы и основные параметры для подсчета запасов за намеченным ТЭО контуром разработки;

- для отдельных видов минерального сырья устанавливаются требования к физико-механическим и другим свойствам, регламентируемым действующими стандартами, техническими условиями или обусловленные результатами технологических испытаний;

- требования к горнотехническим условиям отработки, качеству сырья, технологическим свойствам для подсчета балансовых запасов совместно залегающих полезных ископаемых (перекрывающих, подстилающих или вмещающих пород), доступных для отработки.

При комплексной оценке нерудного сырья требования к его качеству и горнотехническим условиям отработки устанавливаются применительно к каждой из намеченных областей использования сырья; при определении параметров кондиций для полезных ископаемых, используемых в производстве строительных материалов, необходимо учитывать соблюдение норм радиационной безопасности.

В зависимости от геологического строения месторождения, горногеологических условий его разработки, состава полезного ископаемого и требований промышленности кондициями устанавливаются только те из перечисленных показателей, которые необходимы для геолого-экономической оценки данного месторождения.

2.2. В кондиции для подсчета балансовых запасов углей (горючих сланцев) включаются следующие параметры:

- *минимальная истинная мощность пластов угля (сланцев)*, а в пластах сложного строения — частей пласта, которые подлежат самостоятельной отработке; для пластов сложного строения и селективно отрабатываемых частей этот параметр определяется по сумме угольных (сланцевых) внутрипластовых породных прослоев, а также неустойчивых пород кровли и почвы пластов, подлежащих совместной выемке;

- *максимальная мощность породных прослоев, включаемых в пласт сложного строения* при валовой его выемке, или минимальная мощность таких прослоев, предназначенных к селективной выемке и разделяющих пласт на части, подлежащие самостоятельному подсчету и разработке;

- *максимальная зольность угля A^d* (для сланцев — минимальная теплота сгорания в пересчете на сухое топливо (Q_s^d), для пластов сложного строения (или их частей, подлежащих селективной выемке) дополнительно — *максимальная среднепластовая зольность с учетом засорения угля (сланца) внутрипластовыми породными прослоями и извлекаемыми при добыче неустойчивыми породами кровли и почвы пласта;*

- *перечень попутных компонентов* (раздельно по технологическим типам полезных ископаемых), по которым необходимо подсчитывать запасы,

в случае необходимости — минимальное содержание этих компонентов по пересечению или подсчетному блоку;

- пласты, участки, блоки, которые не могут быть отработаны из-за особо сложных горно-геологических условий или вследствие малого количества запасов, разобщенности, интенсивной нарушенности и т. д.;

- *предельная глубина отработки запасов*; для открытого способа дополнительно — предельные коэффициенты вскрыши, границы подсчета запасов в экономически обоснованных контурах разработки и за пределами этих контуров; границы участков первоочередной отработки;

- *специальные требования к качеству углей* (сланцев)—спекаемость, выход смол, содержание серы, фосфора и т. д.

Возможны и другие параметры кондиций при необходимом геологическом, горнотехническом и экономическом обосновании.

2.3. Кондициями для подсчета запасов рапы и озерных солей предусматриваются:

- *минимальные среднегодовые содержания полезных компонентов* (средние промышленные содержания) *в рапе*;

- *максимально допустимые содержания вредных примесей в рапе*;

- требования к выделению при подсчете запасов всех компонентов рапы (ее типов и сортов) исходя из технологических свойств, определяющих различные способы переработки или различные области использования сырья;

- *раздельный подсчет балансовых динамических и статических запасов рапы.*

2.4. Кондициями для подсчета эксплуатационных запасов промышленных вод, предназначенных для извлечения полезных компонентов, устанавливаются:

- *средние промышленные содержания полезных компонентов в водах оцениваемого водоносного горизонта (участка)*;

- *максимально допустимые содержания вредных примесей в водах оцениваемого водоносного горизонта (участка)*;

- *предельные положения динамических уровней в эксплуатационных скважинах*;

- *предельные глубины и дебиты эксплуатационных скважин.*

2.5. Кондициями для подсчета эксплуатационных запасов теплоэнергетических вод, предназначенных для теплоэнергетического использования, устанавливаются:

- *минимальная температура воды* (минимальное теплосодержание пароводяной смеси или пара) на устье скважин;

- *максимально допустимая минерализация*;

- *предельные положения динамических уровней в эксплуатационных скважинах* (минимальное избыточное давление пара на устье).

2.6. В кондициях для полезных ископаемых, по которым государственными и отраслевыми стандартами или специальными техническими условиями установлены требования к качеству минерального сырья, соответствующие параметры должны обеспечивать использование полезного ископаемого по назначению, предусмотренному стандартами (техническими условиями) в естественном виде или после переработки.

2.7. Кондиции для подсчета забалансовых запасов устанавливаются для разведанных запасов, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые. Эти запасы подсчитываются с подразделением по причинам их отнесения к забалансовым (экономическим, технологическим, гидрогеологическим, горнотехническим); в ТЭО кондиций должна быть доказана возможность их сохранности в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем. Перечень параметров кондиций для подсчета забалансовых запасов аналогичен перечню, используемому для балансовых (исключая минимальное промышленное содержание).

2.8. В ТЭО кондиций рассматривается и обосновывается целесообразность подсчета и учета запасов, заключенных в охранных целиках крупных водоемов и водотоков, населенных пунктов, капитальных сооружений и сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры. Для решения вопроса об их отнесении к балансовым или забалансовым выполняются специальные технико-экономические расчеты, в которых учитываются затраты на перенос сооружений или специальные способы отработки запасов. На месторождениях общераспространенных полезных ископаемых запасы в таких охранных целиках, как правило, не подсчитываются, обоснование необходимости их подсчета выполняется лишь при крайнем дефиците данного полезного ископаемого в экономическом районе, где находится месторождение.

МИНИМАЛЬНОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА

Наиболее ответственным показателем кондиций является минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде, определение которого связано с трудоемкими специальными технико-экономическими расчетами.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде определяется из условий равенства стоимости получаемой готовой продукции (концентратов, металлов) и полной себестоимости добычи и переработки руды:

$$C * Ц = З$$

где C — количество готовой продукции в единице руды (например, в 1 т); Π — цена за единицу готовой продукции; Z — затраты на добычу и переработку единицы руды.

Следовательно, минимальное промышленное содержание является таким содержанием полезного компонента в руде, при котором обеспечивается безубыточное использование данного сырья в народном хозяйстве в настоящее время.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента должно относиться к каждому подсчетному блоку. Как правило, следует считать, что каждый подсчетный блок должен быть геологически и технологически однородным и освещен достаточным количеством разведочных выработок, на основании которых он получает надежную оценку.

В зависимости от геологических особенностей месторождения, категории запасов и метода подсчета размеры подсчетных блоков могут изменяться, поэтому установить какой-либо определенный объем блока не представляется возможным. Согласно методическим указаниям ГКЗ для месторождений с неравномерным распределением полезных компонентов или изменчивой мощностью рудных тел запасы отдельных подсчетных блоков не должны превышать полугодовой — годовой добычи предприятия.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента обеспечивает только безубыточное использование минерального сырья. В то время как народное хозяйство требует расширенного воспроизводства, которое невозможно без определенных накоплений (прибыли), эти накопления обеспечиваются тем, что фактическое содержание полезного компонента на месторождении обычно выше, чем установленное минимальное промышленное. Поэтому распространение минимального промышленного содержания на все месторождение или на крупные его участки недопустимо.

Для некоторых видов минерального сырья минимальное промышленное содержание полезного компонента лимитируется соответствующими ГОСТами или техническими условиями. Например, для бокситов ГОСТ 972—50 предусматривается минимальное содержание Al_2O_3 в руде не менее 28% (марка Б-8). В этих случаях каких-либо специальных расчетов для определения величины минимального промышленного содержания полезного компонента не требуется.

Расчеты по определению величины минимального промышленного содержания производятся на 1 т руды, на 1 м³ песков или другое какое-либо условно принятое количество, используя следующую общую формулу:

$$C = \frac{Z}{\Pi \cdot n \cdot p},$$

где C — минимальное промышленное содержание полезного компонента

в руде, например количество граммов золота в 1 т руды; Z — сумма всех затрат, связанных с добычей, переработкой и транспортировкой

единицы минерального сырья, например 1 т руды, в руб.; Ц — установленная государственная цена за единицу полезного компонента, например за 1 г золота, в руб.; и — коэффициент извлечения полезного компонента из руды; р — коэффициент, учитывающий разубоживание.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде может быть выражено в процентах, тогда в числитель общей формулы следует добавить показатель 100.

Коэффициент извлечения (и) определяется по данным технологических испытаний как отношение количества полезного компонента, перешедшего в концентрат (при обогащении) или непосредственно в готовую продукцию при других способах переработки, к общему количеству полезного компонента в руде.

Коэффициент, учитывающий разубоживание (р), следует определять как отношение содержания полезного компонента в добытой руде к содержанию полезного компонента в недрах (в массиве) по формуле

$$p = t : n,$$

где т — содержание полезного компонента в добытой (товарной) руде, % или г/м³ песков; н — содержание полезного компонента в недрах (в массиве) в тех же единицах.

Затраты (З) включают следующие основные виды: а) затраты, связанные с добычей минерального сырья; б) с переработкой; в) с транспортировкой и г) затраты на амортизацию.

Каждый вид затрат, кроме амортизации, состоит из следующих элементов: зарплаты, материалов, электроэнергии (или другого вида энергии), общих расходов.

Определение затрат должно исходить из современных реальных технических и экономических данных с учетом достижений новейшей передовой техники. Правильное определение затрат играет большую роль, так как недоучет какого-либо фактора, оказывающего влияние на стоимость добычи, переработки или транспортировки руды, может привести к неправильному определению величины минимального промышленного содержания, в частности к занижению его, а следовательно, к неправильной завышенной оценке месторождения. В дальнейшем это может привести к крупным потерям государственных средств и к убыточной эксплуатации месторождения. Но нельзя и завышать затраты, так как это приведет к завышению минимального промышленного содержания полезного компонента, к занижению оценки месторождения, к занижению его масштабов и возможной добычи.

Величина затрат (З) зависит от ряда факторов, которые к моменту определения кондиций должны быть в той или иной степени известны.

Затраты, связанные с добычей руды. Для их определения необходимо знать:

1. Масштаб месторождения, количество запасов руды и возможные масштабы добычи. При выборе масштаба добычи и переработки руды

определяющим фактором является современная и перспективная потребность в данном минеральном сырье (металле) в целом для Союза и для данного экономического района, а также возможность покрытия этой потребности как за счет разрабатываемых, так и за счет освоения новых разведанных месторождений.

При производстве технико-экономических расчетов и определения масштабов добычи должны учитываться только разведанные балансовые запасы минерального сырья категорий $A + B + C_1$. Запасы категории C_2 и забалансовые запасы принимаются во внимание лишь для определения возможных перспектив развития горнодобывающей промышленности.

2. Условия залегания тел полезных ископаемых, их форма и размеры по простиранию, падению, мощности, тектоническая нарушенность служат обоснованием для выбора способа и системы разработки, в частности (в первую очередь) возможности отработки месторождения открытым способом. Для этого важно знать глубину залегания тел полезного ископаемого, объем и стоимость вскрышных работ (коэффициент вскрыши) и ряд других показателей.

3. Внутреннее строение тел полезных ископаемых, наличие в пределах контуров, подлежащих отработке, безрудных участков, их размеры, количество (коэффициент рудоносности). Эти сведения необходимы для выяснения возможности селективной отработки безрудных участков или оставления их в целиках, а также для выяснения необходимости организации эксплуатационной разведки и опробования и масштаба этих работ, затраты на которые (например, на ртутных месторождениях) могут иметь большой удельный вес.

4. Горнотехнические условия отработки — крепость минерального сырья и вмещающих пород, устойчивость, способность к вспучиванию и оплыванию и другие сведения, которые оказывают непосредственное влияние на себестоимость добычи и без которых нельзя проектировать отработку месторождения и его эксплуатацию.

5. Гидрогеологические условия отработки месторождения, знание которых необходимо для определения ожидаемых водопритоков и проектирования предупредительных мероприятий (определения мощностей насосных установок, разработки мероприятий по осушению, организации опережающего бурения и т. д.).

Затраты, связанные с переработкой минерального сырья. Для определения таких затрат следует учитывать все затраты до получения готового продукта, на который существует установленная государственная цена. Для этого необходимо знать.

1. Минеральный и химический состав сырья; крупность отдельных зерен (кристаллов); их взаимоотношение — рудных между собой и с нерудными, что важно, например, для установления степени дробления, необходимой для вскрытия минералов; содержание полезного компонента в отдельных минералах, входящих в состав минерального сырья, и общий

баланс содержания полезного компонента для установления извлечения этого компонента при технологическом пределе.

2. Физико-механические свойства минерального сырья — крепость, кусковатость, влажность, сыпучесть, пылеватость, промывистость и другие свойства, которые оказывают влияние на себестоимость технологической переработки руды.

3. Технологические свойства минерального сырья — схему обогащения или непосредственной переработки минерального сырья (например, металлургической для руд силикатного никеля, ртути и др.) коэффициент извлечения полезного компонента из руды, содержание его в концентрате, способность флотироваться, расход реагентов, их стоимость.

4. Наличие попутных полезных компонентов, возможность промышленного их использования, коэффициент извлечения, возможность использования хвостов обогащения (для керамики, строительных материалов, дорожного строительства и пр.).

5. Наличие вредных примесей и способы их устранения — обжиг, промывка, флотация.

Затраты, связанные с транспортировкой. При определении таких затрат должны учитываться:

1. Доставку минерального сырья от места добычи до места переработки, т. е. от рудника до обогатительной фабрики или завода — узкоколейная ж. д., автотранспорт, воздушная канатная дорога и др.

2. Доставку концентратов от обогатительной фабрики до завода (потребителя); географо-экономические факторы района — удаленность от ж.-д. магистралей (потребителя), состояние автодорожного хозяйства, климатические условия, возможность круглогодичной связи и транспортировки и др.

Амортизация. Амортизационные отчисления представляют собой погашение затрат на строительство (возмещение износа основных фондов). Прежде чем определить эти отчисления, необходимо знать затраты, связанные со строительством рудничного хозяйства, с проведением капитальных подготовительных выработок (иногда эти затраты выделяются самостоятельно), со строительством обогатительной фабрики или завода и установкой оборудования, со строительством капитальных подъездных путей, железнодорожных веток, автомагистралей.

Срок службы производственных зданий, сооружений и оборудования регламентируется специальными постановлениями.

На основании общих капиталовложений в строительство горнорудного предприятия рассчитываются удельные капиталовложения, которые при решении вопроса об освоении месторождения имеют большое значение.

Разбор всех видов затрат показывает, что при определении минимального промышленного содержания полезного компонента в руде (этого главного показателя кондиций) учитываются все особенности данного месторождения. Основные факторы, оказывающие влияние на правильное

определение минимального промышленного содержания полезного компонента, выявляются при разведке и изучении месторождения. Поэтому при расчете кондиций разведочные организации должны обеспечить получение максимально полных сведений о месторождении.

Рыночная цена, которой в настоящее время пользуются при расчете кондиций, устанавливается за единицу полезного компонента, например за 1 г золота или за 1 т металла в концентрате.

Расчетными ценами разрешается пользоваться только в исключительных случаях — при отсутствии цен на новые виды сырья или когда действующие цены, например на некоторые редкие элементы, обусловлены ограниченными размерами их добычи.

При наличии установленных государственных цен на концентраты для определения величины минимального промышленного содержания полезного компонента учитываются только затраты на добычу и обогащение минерального сырья.

Использование при расчете кондиций действующих государственных цен на готовую продукцию не всегда дает удовлетворительные результаты. Более правильно предложение некоторых специалистов о разработке максимально допустимой себестоимости для каждого металла (концентрата), которая должна быть единой для всех месторождений данного минерального сырья и служить основой при расчете кондиций.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Способы подсчета запасов представляют собой определенные системы геометрических построений и простейших вычислений, с помощью которых природные тела более или менее сложных форм заменяются простыми равновеликими телами, объемы которых легко вычисляются по элементарным математическим формулам.

Выбор способа подсчета запасов определяется геологическими особенностями месторождения и применяемыми системами разведки. Однако не следует преувеличивать роль способа подсчета запасов полезного ископаемого в достижении наибольшей надежности результатов. Опыт показывает, что главными причинами ошибок при подсчетах запасов являются дефекты документации и неправильные геологические представления при интерполяции и экстраполяции данных разведки. При достаточном количестве доброкачественного фактического материала и при правильном понимании геологической обстановки любой способ подсчета дает результаты, близкие к действительным. Подсчеты, выполняемые двумя или тремя разными способами на одном и том же исходном материале, дают близкие цифры запасов.

Опыт, накопленный в СНГ, показал, что целесообразно применять только те способы подсчета запасов, которые, являясь простыми в исполнении, в то же время позволяют отражать геологические особенности месторождений. В последние годы в практике разведок месторождений полезных ископаемых преобладают подсчеты запасов способом среднего арифметического, способом блоков, способом разрезов, которые отличаются вышеуказанными достоинствами.

1. СПОСОБ СРЕДНЕГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО

Этот способ представлен простейшим подсчетом запасов и их параметров. Подсчет охватывает весь объект разведки. Поэтому все разведочные пересечения, заключенные внутри общего контура объекта, служат исходными данными для вычисления средних значений подсчетных параметров. Оконтуривание подсчетной площади может быть произведено любым из известных способов. Таким образом, при подсчете запасов полезного ископаемого способом среднего арифметического сложные очертания тела сглаживаются путем превращения этого тела неправильной формы в равновеликую по объему плиту (рис. 1.36).

При этом способе все средние значения подсчетных параметров вычисляются как средние арифметические величины, за исключением средних содержаний полезных компонентов по каждому разведочному пересечению. В итоге подсчетная площадь принимается равной площади тела полезного ископаемого, обычно в плане или в проекции на

горизонтальную плоскость. Средняя мощность тела, выраженная толщиной подсчетной плиты, вычисляется как средняя величина из всех рудных разведочных пересечений. Среднее содержание полезных компонентов также вычисляется среднеарифметическим способом, без «взвешивания» на различные мощности, установленные в разведочных пересечениях. Средний объемный вес определяется по ограниченному числу проб (20—30 шт.) как средняя арифметическая величина. И только вычисление среднего содержания по разведочному пересечению выполняется способом среднего взвешенного — содержания в секционных пробах по разведочному пересечению взвешиваются на длины проб.

Основным преимуществом способа среднего арифметического является простота подсчетов. Этот способ дает возможность быстро определить величину запасов для ориентировочного представления о промышленной ценности месторождения. Он является единственно рациональным способом подсчета запасов при немногочисленных разведочных данных, когда применение других более сложных способов невозможно. Поэтому способ среднего арифметического типичен для подсчетов запасов по результатам поисково-разведочных работ и в большинстве случаев по итогам предварительной разведки.

К недостаткам этого способа относится невозможность отдельного подсчета запасов полезного ископаемого по типам руд или подразделение объекта разведки на какие-либо другие части с отдельными подсчетами запасов в них.

2. СПОСОБ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ

При наличии разнородных частей месторождения в его пределах выделяются более или менее однородные участки, которые и представляют собой отдельные подсчетные блоки. Выделение блоков производится по разным типам полезного ископаемого, выявленным в процессе разведки; по морфологическим особенностям разных частей месторождения; по различиям в условиях залегания, т. е. по различным геологическим признакам. Отсюда и название выделяемых блоков: «геологические блоки». При выделении блоков по геологическим признакам приходится также учитывать степень разведанности различных их частей и тогда в пределах некоторых геологических блоков целесообразно выделять самостоятельные подсчетные блоки с целью дифференцированного учета запасов полезного ископаемого разных категорий (A , B , C_1 C_2).

Сущность преобразования форм для подсчета запасов способом геологических блоков состоит в том, что отдельные части объекта разведки превращаются в пластины разной толщины и все тело полезного ископаемого представляет собой ряд сомкнутых такого рода пластин (рис. 2).

Подсчеты запасов и их параметров в пределах каждого блока ведутся или способом среднего арифметического, или способом среднего взвешенного, если исходные данные по разным разведочным пересечениям

существенно различны. Общие запасы полезного ископаемого подсчитываются суммированием запасов по всем блокам.

Способ геологических блоков можно применять, когда имеются уже многочисленные данные по объекту разведки, значительно большее число разведочных пересечений, чем это бывает при подсчете запасов в целом по объекту способом среднего арифметического. Однако в пределах каждого подсчетного блока разведочных наблюдений может быть и немного. Следует при этом помнить, что чем больше в каждом подсчетном блоке данных о его мощности и содержании полезного компонента, тем точнее будут определены запасы каждого блока и месторождения в целом. Следовательно, кроме геологических соображений при выделении подсчетных блоков следует учитывать и расположение разведочных пересечений, а очерчивать подсчетные геологические блоки целесообразно с таким расчетом, чтобы каждый из них опирался на возможно большее число разведочных пересечений.

В зависимости от числа разведочных пересечений в каждом блоке и от густоты разведочной сети запасы полезного ископаемого могут быть квалифицированы по разным категориям (А, В, С₁, С₂).

Способ геологических блоков обладает теми же преимуществами, что и способ среднего арифметического — простотой построений и расчетов. Кроме того, он совершеннее последнего тем, что дает возможность выделять пространственно и подсчитывать отдельно различные типы и сорта полезного ископаемого, заключенные в разведанном объекте. Поэтому способ геологических блоков эффективно может применяться по результатам как предварительной разведки, так и детальных разведок месторождений полезных ископаемых.

Одним из существенных недостатков данного способа является то, что его подсчетные единицы (блоки) обычно не соответствуют эксплуатационным участкам и эксплуатационным блокам. Поэтому при проектировании разработки месторождения приходится перестраивать все подсчетные блоки применительно к принятой системе разработки месторождения и производить полный пересчет запасов. Способ геологических блоков, так же как и способ среднего арифметического, чаще применяется в начальный период разведки месторождения.

3. СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ БЛОКОВ

В основу этого способа подсчета запасов положены требования подготовки месторождения к его отработке. Суть способа заключается в разбивке тела полезного ископаемого или его части на серии блоков согласно принятой системе отработки. Такого рода блоки уже очерчиваются горно-подготовительными выработками с трех или четырех сторон. Следовательно, способ эксплуатационных блоков применим в конечный период разведки месторождения — частично при его детальной разведке, но главным образом

в процессе отработки месторождения для подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки.

Объем тела в блоке, оконтуренном с четырех сторон, вычисляется по формуле:

$$V = S \frac{m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_4 L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4},$$

где S — площадь блока;

m — средняя мощность тела по горной выработке;

L — длины выработок.

При значительных колебаниях объемного веса запасы руды в блоке вычисляются по формуле:

$$Q = V \frac{d_1 m_1 L_1 + d_2 m_2 L_2 + d_3 m_3 L_3 + d_4 m_4 L_4}{m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_4 L_4},$$

где d — средний объемный вес полезного ископаемого по горной выработке.

Вычисление запасов полезного компонента в общей форме также производится со взвешиванием содержания полезного компонента на подсчетные параметры по каждой выработке, оконтуривающей блок:

$$Z = Q \frac{c_1 d_1 m_1 L_1 + c_2 d_2 m_2 L_2 + c_3 d_3 m_3 L_3 + c_4 d_4 m_4 L_4}{d_1 m_1 L_1 + d_2 m_2 L_2 + d_3 m_3 L_3 + d_4 m_4 L_4},$$

где c — среднее содержание полезного компонента по горной выработке.

Если блок оконтурен с трех сторон, то расчеты по приведенным формулам производятся только по трем выработкам. Но при подготовке крупных массивов к отработке иногда эксплуатационные блоки имеют не плоские формы, а приближающиеся к кубам или призмам больших размеров. В таких случаях горно-подготовительных выработок, обрисовывающих блок в разных направлениях, бывает больше четырех и все они должны участвовать в подсчете запасов полезного ископаемого. В каждом конкретном случае в зависимости от соотношений различных горных выработок и буровых скважин методика подсчета запасов полезного ископаемого будет иметь свои особенности.

Подсчеты запасов способом эксплуатационных блоков дают наиболее точные и достоверные результаты определения запасов полезного ископаемого, поскольку они базируются на самых детальнейших разведочных данных, на множестве разведочных пересечений и проб.

4. СПОСОБ РАЗРЕЗОВ

Подсчет запасов с изображением подсчетных площадей в разрезах является способом, наиболее полно учитывающим геологические особенности тел полезных ископаемых. Это обстоятельство особенно важно при подсчетах запасов полезных ископаемых тех месторождений, которые обладают изменчивыми и сложными формами. Поэтому способ разрезов распространен в практике подсчетов запасов руд многих металлических и неметаллических полезных ископаемых; в меньшей степени он применяется

для подсчета запасов горючих сланцев, углей и других полезных ископаемых, представленных месторождениями простых пластовых форм.

Сущность способа состоит в том, что тело полезного ископаемого разбивается на блоки, ограниченные геологическими разрезами, построенными по соответствующим разведочным пересечениям. В зависимости от ориентировки разведочных пересечений, образующих разрезы первого порядка, различаются две разновидности способа подсчета: 1) способ вертикальных разрезов и 2) способ горизонтальных разрезов. Первый типичен для мощных залежей вытянутых или изометричных форм, разведанных вертикальными или наклонными буровыми скважинами при небольшом-участии горных разведочных выработок — шурфов, дудок и т. п. Второй способ обычно применяется при разведке месторождения горными и горно-буровыми системами с преобладающими горизонтальными разведочными пересечениями из подземных горных выработок; он характерен для крутопадающих более или менее мощных тел полезных ископаемых, а также для штокообразных и трубообразных месторождений. В связи с тем, что месторождения отрабатываются горизонт за горизонтом по определенным этажам или уступам, способ подсчета запасов горизонтальными разрезами наиболее удобен для проектирования рудников.

При расчленении тела подсчетными разрезами на блоки каждый из них ограничивается двумя практически параллельными разрезами, за исключением двух крайних блоков — правого и левого при вертикальных разрезах или верхнего и нижнего при горизонтальных разрезах. Эти последние блоки опираются лишь одной стороной на разведочный разрез, с остальных сторон ограничиваются экстраполяционными поверхностями по геологическим или иным соображениям (рис. 3).

Подсчет способом разрезов распадается на два этапа. Сначала подсчитываются так называемые линейные запасы (d) в пределах условных пластин, соответствующих по площадям каждому разведочному разрезу толщиной 1 м; затем путем усреднения данных по разрезам, ограничивающим блоки, находят значения подсчетных параметров для каждого блока.

Чтобы подсчитать линейные запасы в разрезе, определяются среднее содержание полезного компонента (c) и средний объемный вес полезного ископаемого (B) по разведочным пересечениям в этом разрезе путем вычислений способом среднего взвешенного:

$$c = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2 + \dots + c_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n};$$
$$D = \frac{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \dots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Линейные запасы полезного ископаемого и полезного компонента, в нем заключенного, находятся из выражений:

$$q = S \cdot D;$$

$$Z = q \cdot c,$$

где S — площадь сечения тела полезного ископаемого в разрезе.

Объем и запасы полезного ископаемого между двумя параллельными сечениями находятся как произведение полусуммы площадей пластин и запасов, заключенных в обеих пластинах, ограничивающих блок, на расстояние между ними (H):

$$V = H \frac{S_1 + S_2}{2};$$

$$Q = H \frac{q_1 + q_2}{2};$$

$$Z = H \frac{z_1 + z_2}{2}.$$

Если разрезы на разведанном объекте не параллельны, а сходятся под небольшим углом (не более 10°), то расстояние между разрезами можно принимать как среднюю величину:

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2},$$

где H_1 и H_2 — перпендикуляры, опущенные из середины каждого разреза на противоположный разрез (рис. 4). Среднее содержание полезного компонента и средний объемный вес в блоке между разрезами вычисляются как отношения величин:

$$c_{\text{ср}} = \frac{Z}{Q};$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{Q}{V}$$

Приведенные формулы применимы только при параллельных разрезах или при их расположении под небольшим углом друг к другу, а также, если разница в площадях сечений соседних разрезов не превышает 40 %. В случаях же непараллельных сечений и резко различных площадях сечений тела в соседних разрезах вычисления объемов и запасов полезного ископаемого могут выполняться с применением других математических выражений, соответствующих особенностям тех или других геометрических форм под счетных блоков—пирамид, цилиндров, конусов.

5. СПОСОБ БЛИЖАЙШЕГО РАЙОНА

Этот способ, называемый еще способом А. К. Болдырева, состоит в том, что месторождение разбивается на ряд многоугольников в плане с таким расчетом, чтобы к каждому разведочному пересечению отошел тяготеющий к нему ближайший участок (рис. 5а). Для построения многоугольников каждую точку разведочного пересечения в плане, разрезе или в проекции на плоскость тела полезного ископаемого соединяют прямыми линиями со смежными пунктами разведочных пересечений; затем каждая такая вспомогательная линия делится пополам перпендикуляром к ней. Пересечения всех перпендикуляров вокруг точки образуют замкнутый многоугольник, являющийся «ближайшим районом», на который распространяются данные, полученные по соответствующему разведочному пересечению. Таким образом месторождение разбивается на множество многогранных призм (рис. 5б), высотой которых являются мощности тела полезного ископаемого в каждой призме. Запасы полезного ископаемого вычисляются в каждой призме на основании данных одной скважины, расположенной в

середине призмы. Общие запасы месторождения являются суммой запасов, подсчитанных в отдельных призмах.

Способ ближайшего района усложняет построения и расчеты при подсчете запасов полезного ископаемого и по этой причине становится практически неприменимым на крупных месторождениях, разведанных при большом количестве пересечений. Главным же его методическим недостатком является то, что одна выработка не представительна для того, чтобы по ней можно было достаточно надежно определить запас полезного ископаемого в прилегающем участке, особенно при разведке неравномерных по содержанию полезного компонента месторождений. Кроме того, способ многоугольников не дает возможности выделять сорта полезного ископаемого в вертикальном разрезе и не позволяет очертить их в плане, так как формальные границы «ближайшего района» могут не совпадать с природными границами сортов полезного ископаемого. Существенным недостатком способа является то, что подсчет непригоден для целей отработки месторождения, поскольку подсчетные блоки в сумме или в отдельности не соответствуют эксплуатационным блокам.

СПОСОБ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

Так же как и способ многоугольников, этот способ приводит к разбивке объекта разведки на части в зависимости от местоположения разведочных пересечений. Построения для подсчета заключаются в соединении всех пунктов разведочных пересечений на подсчетном плане прямыми линиями, в результате чего площадь объекта разведки условно делится на множество прилегающих друг к другу треугольников (рис. 6). Так тело полезного ископаемого подразделяется на трехгранные призмы, ребра которых представлены разведочными пересечениями. В каждой призме учитываются данные, полученные по трем разведочным пересечениям.

Запасы полезного ископаемого подсчитываются в каждой отдельной призме, объем которой определяется как произведение средней мощности по трем пересечениям на площадь треугольного основания. Средние содержания полезных компонентов и средние объемные веса в пределах призмы вычисляются по данным тех же трех разведочных пересечений. Общие запасы объекта разведки подсчитываются как сумма запасов всех трехгранных призм.

Способ треугольников обладает теми же недостатками, что и способ ближайшего района. Правда, данные о запасах в трехгранной призме более надежны, поскольку они опираются не на единственное разведочное пересечение, а на три пересечения, но при весьма неравномерном распределении полезного компонента погрешности подсчета запасов в отдельных призмах могут быть весьма большими.

СПОСОБ ИЗОЛИНИЙ

Существует несколько способов подсчета запасов полезных ископаемых при помощи изолиний — построений, широко применяющихся в разведочном деле для наглядного изображения тех или других свойств объектов разведки (форм тел полезных ископаемых, распределения содержаний полезных компонентов или вредных примесей, физических свойств руд и т. п.). Однако эти способы применяются в редких случаях главным образом ввиду сложности построений и подсчетов. Из способов изолиний, которые применялись для подсчета запасов разведанного месторождения или «го части, можно назвать способ Ф. Н. Шклярского, разработанный к подсчету запасов липецких месторождений железных руд в 1921 г., и способ П. К. Соболевского, впервые опубликованный в 1928 г. И тот и другой способы заключаются в преобразовании сложных природных форм тела полезного ископаемого в несколько упрощенное равновеликое тело по правилам топографии. Такое преобразованное тело изображается в виде топографической поверхности в плане, ограничивающей его сверху, а нижняя поверхность тела представлена плоскостью. Для подсчета запасов вычисляется объем тела аналитическим путем (по формуле приближенного интегрирования или по формулам геометрии) или графоаналитическим способом, когда производятся измерения площадей горизонтальных сечений палеткой или планиметром и объем вычисляется как произведение площадей средних сечений на расстояния между ними. Запасы минерального сырья и полезного компонента, заключенного в нем, вычисляются как произведения средних значений объемного веса и содержания полезного компонента на объем тела полезного ископаемого.

Одной из разновидностей способа изолиний является метод изогипс (равных высот), называемый еще методом В. И. Баумана. Он применяется для подсчетов запасов дислоцированных, но выдержанных по мощности пластов каменного угля. Для такого подсчета составляется план, на котором изображается поверхность пласта в виде изогипс. Очевидно, что объем части пласта, заключенный между двумя изогипсами, равен площади *между* ними, умноженной на среднюю мощность пласта по данному участку. Запасы угля, подсчитанные по каждому участку между всеми изогипсами, в сумме определяют величину общих запасов объекта разведки.

8. ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Здесь приводятся лишь самые общие сведения. Для изучения методов подсчета запасов этих полезных ископаемых следует обратиться к специальным учебным пособиям.

Методы подсчета запасов нефти различаются трех видов: объемные, статистические и материальных балансов.

Объемный метод основан на данных о распределении нефти в горных породах. По этому методу подсчитывается извлекаемый запас нефти, исходя из нефтеносной площади, эффективной мощности пласта, коэффициентов,

характеризующих нефтенасыщенность и способность нефти выделяться из вмещающих пород с учетом удельного веса жидкости.

Статистический метод подсчета основан на изучении закономерности падения дебита нефтяных скважин по соответствующим кривым. Экстраполяция этих кривых дает возможность определить добычу и запасы нефти в предстоящий период.

Метод материального баланса базируется на изучении физических свойств жидкости и газа, содержащихся в пласте, и изменении их соотношений в процессе разработки месторождения. На основании изменений пластового давления по мере извлечения нефти и перераспределения в пласте нефти, воды и газа можно составить уравнение материального баланса. Это последнее дает возможность подсчитать :шиас нефти.

Методы подсчета запасов газа — объемный и падения давления — основаны на изучении пористости пород, вмещающих газ, или на изучении падения давления газа по мере его извлечения из недр и тот и другой методы дают возможность определить извлекаемые запасы газа.

Методы подсчета, запасов подземных вод основываются на определениях объемов водопосных горных пород и на их водоотдаче под влиянием различных условий статического или динамического напора. При этом различаются способы подсчета: 1) вековых запасов подземных вод и 2) эксплуатационных запасов этих вод.

ПРИЛОЖЕНИЕ

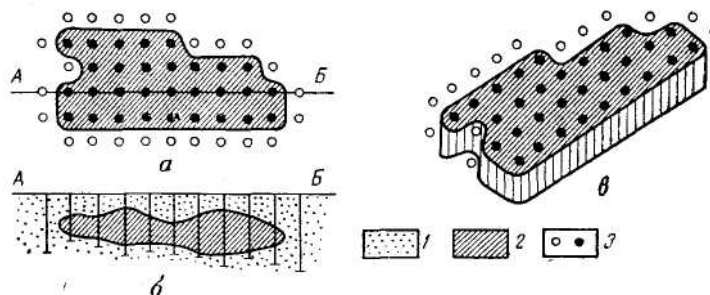


Рис. 1 Схема преобразования формы рудного тела при подсчете запасов способом среднего арифметического

а — план рудного тела; б — разрез по линии А — Б; в — аксонометрическая проекция преобразованного тела

1 — вмещающие горные породы; 2 — рудное тело; 3 — разведочные выработки: черные — пересечения рудное тело, светлые — законтурные

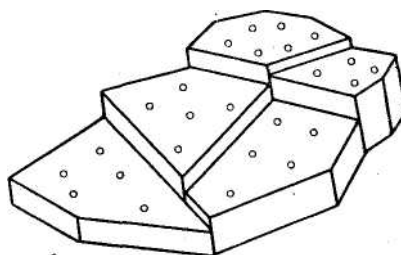


Рис. 2 Схема преобразования природной формы неоднородного тела полезного ископаемого при подсчете запасов способом геологических блоков

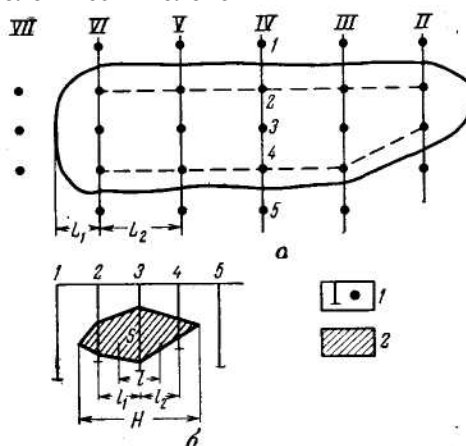


Рис. 3. Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов руд методом разрезов

а — план; б — разрез по линии IV

1 — разведочные выработки; 2 — площадь сечения рудного тела

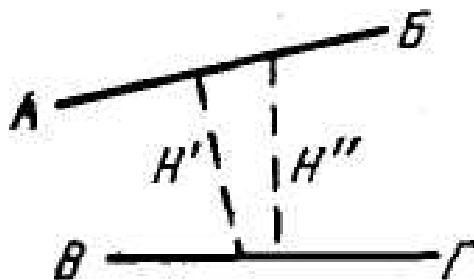


Рис. 4. Схема определения среднего расстояния между непараллельными разрезами

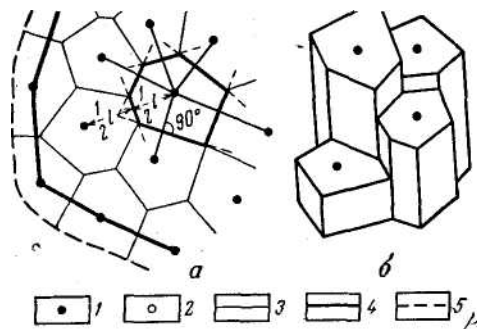


Рис. 5. Схема построений к подсчету запасов способом ближайшего района

a — часть подсчетного плана с примером построения многоугольника по одной выработке (вертикальное разведочное пересечение);

1 — выработки, вскрывшие полезное ископаемое; 2 — безрудные выработки; 3 — контуры подсчетных многоугольников; 4 — внутренний контур подсчета запасов; 5 — внешний контур подсчета запасов, б — форма рудного тела, преобразованная по способу ближайшего района (в аксонометрической проекции)

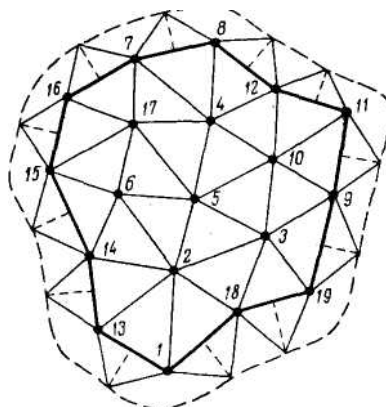


Рис. 6. Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов способом треугольников

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Геологической документацией называется письменный, графический и каменный материал, получаемый при проведении геологоразведочных работ.

Геологическая документация является источником непосредственных сведений об изучаемом геологическом объекте и исходным материалом, на котором базируется и с которым связана дальнейшая геологическая информация, получаемая в результате камеральной обработки первичного материала и ее интерпретации. Данные первичных наблюдений, материалы геологической документации должны быть возможно более достоверными и объективными. От качества документации зависят эффективность и результаты проводимых геологоразведочных работ. В связи с особенностями геологоразведочного процесса в период эксплуатации объекта геологическую документацию часто невозможно повторить, проверить или исправить. Поэтому при любых обстоятельствах и условиях работ необходимо проводить первичную геологическую документацию качественно.

Основой геологической документации являются записи и зарисовки, производимые в пикетажных книжках и в различных журналах: описания канав, траншей, шурфов и других горных выработок. Наглядным выражением геологической документации являются зарисовки и фотографии отдельных обнажений или горных выработок.

Геологическая документация в виде каменного материала включает пробы полезного ископаемого, образцы руд и горных пород, осколки для шлифов и аншлифов с обозначением места взятия материала и его маркировкой.

Особой формой сбора и хранения геологической документации являются карты с краевой перфорацией, обеспечивающие наибольшую полноту и систематичность накопления геологических наблюдений. С помощью перфокарт можно быстро получить информацию по тому или другому вопросу, касающемуся объекта разведки.

Различают первичную и сводную геологическую документацию. Первичная документация составляется отдельно на каждую горную выработку, скважину, естественное обнажение. Она производится по частям — интервалам проходки выработки — на месте работ в поле или под землей. Представляемый материал геологической документации может содержать данные не только геолого-минералогических наблюдений, но и результаты геофизических, геохимических и других исследований, позволяющие наиболее полно характеризовать документируемый объект. Сводная геологическая документация является обобщением первичных документов по отдельным разведочным выработкам и естественным обнажениям и заключается в составлении геологических карт, планов, разрезов, проекций

тел полезных ископаемых или рудоносных толщ на плоскости, а также пространственных изображений в виде блок-диаграмм. Все эти материалы служат для наглядного представления о геологическом строении месторождения, о формах и условиях залегания тел полезного ископаемого и их вещественном составе.

1. СОДЕРЖАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В полевых книжках и на зарисовках указываются наименования организации, месторождения, участка, время производства работ, нумерация выработок, топографическая или маркшейдерская привязка документируемого объекта. Первичные записи отражают: геолого-минералогические особенности вмещающих горных пород и руд; формы и размеры тел полезного ископаемого и характер контактов с вмещающими породами; гипогенные и гипергенные изменения пород и руд; тектонические нарушения, особенно нарушения, контролирующие оруденение и смещающие тела полезного ископаемого.

Материалы геофизических и геохимических исследований, проводимых в тех же разведочных выработках, составляются специальными подразделениями геологической службы и совмещаются с материалами геолого-минералогической документации, дополняя и уточняя последние.

Нумерация разведочных выработок скважин, проб и образцов. При разведке месторождений применяется большое количество разнообразных горных выработок, как наземных — закопушки, расчистки, канавы, дудки, шурфы, так и подземных — штольни, квершлагги, орты, штреки, шахты, восстающие. Причем разведка месторождения обычно ведется параллельно на нескольких участках. Для удобства документации и во избежание путаницы при возможном развитии работ, когда участки сливаются в один объект разведки, необходимо заблаговременно установить целесообразную нумерацию выработок, что достигается применением особой нумерации на каждом участке: например, участок № 1 имеет номера от 1 до 999; участок № 2 — от 1000 до 1999 и т. д. В пределах участка лучше, всего выработки нумеровать по порядку их мест. Нумерация выработок определяется системой разведки и особенностями производства работ, например при проходке рассечек и ортов удобно пользоваться четными номерами для выработок, расположенных по правой стороне, и нечетными — по левой стороне штрека (штольни).

Другая нумерация должна быть разработана для образцов и проб. Образцы и особенно пробы должны иметь однозначную привязку, и поэтому рекомендуется давать им общий порядковый номер по всему участку или даже месторождению, выделяя для каждого участка (выработки) свой интервал номеров.

Все горные выработки и буровые скважины после заложения включаются в каталог выработок, где указываются их координаты, устья их

выносятся на соответствующие планы. Определение координат устья выработки и вынос его на план производится инструментально с высокой точностью топо-маркшейдерской службой. План расположения горных выработок является одним из важнейших документов— основой, на которой строится вся сводная документация разведки объекта.

Описание горных пород должно содержать полевое название породы, ее цвет, структуру, минеральный состав, распределение минералов и их количественные соотношения; физико-химические свойства породы — крепость, хрупкость, пористость, рыхлость и т. п. Для интрузивных пород должна указываться фациальная принадлежность, наличие порфировидных включений, ксенолитов, шлиров, характер экзо- и эндоконтактовых изменений. Для малых интрузий и даек — размеры, мощность, длина, элементы залегания, геоморфологическое выражение. Для осадочных пород важно фиксировать состав, мощность, характер отдельных прослоев, текстуру, состав обломков, величину, ориентировку и степень окатанности частиц, процентные соотношения различных компонентов породы; состав, цвет и тип цемента конгломератов, наличие органических включений, следы размыва и характер взаимоотношений соседних слоев. Для рыхлых пород следует отметить тип отложений, их пространственную и генетическую связь с коренными породами района, форму и состав обломков и соотношение обломков и рыхлого материала.

Наблюдения над телами полезного ископаемого производятся с особой тщательностью. При описании вещественного состава отмечаются макроскопически определяемая минеральная ассоциация, количественное соотношение минералов и их структурные взаимоотношения, текстуры рудного тела. При наличии достаточного опыта в процессе документации бывает возможно определять и промышленные сорта полезного ископаемого. Полевые наблюдения должны подкрепляться данными микроскопических исследований, результаты которых используются при окончательном оформлении материалов геологической документации.

Определение размеров и формы тела полезного ископаемого при первичных геологических наблюдениях часто бывает затруднено, так как документируемые буровые скважины и многие горные выработки являются лишь единичными пересечениями тела. Поэтому для правильного представления об объекте разведки в целом должно быть установлено единообразие наблюдений по определенной системе. К числу обязательных наблюдений относятся следующие.

Изучение контактов тел, среди которых различаются:

1) резкие, обычно характерные для рудных тел, образованных в открытых полостях, и четкие, но извилистые контакты многих метасоматических образований;

2) нерезкие контакты, характеризующиеся постепенным, но заметным невооруженным глазом переходом от тела полезного ископаемого к вмещающим породам;

3) контакты, визуально невидимые, устанавливаемые в результате опробования и характерные для многих вкрапленных, прожилково-вкрапленных и мелкослоистых скоплений полезного ископаемого.

При изучении контакта следует выяснить его тип — стратиграфический, тектонический, диффузионный, инфильтрационный; приуроченность к определенным структурам (складчатым или разрывным); характер контакта — ровный, извилистый, сложный. Для характеристики контактовых зон необходимо брать образцы, указывая места отбора их на зарисовке.

Изучение раздувов, рудных столбов и пережимов тела должно вестись для определения причин и выявления возможных закономерностей в их расположении. Часто по простиранию отмечается как бы выклинивание рудной жилы и тогда ее прослеживание ведется по рудовмещающей трещине, в которой наблюдается комплекс сопутствующих жильных минералов (карбонатов, хлоритов, барита и др.).

Изучение апофиз, представляющих собой ответвление рудного тела, одновременное с ним по образованию. Содержащиеся в апофизах полезные минералы могут иметь промышленное значение, так же как и в основном теле, увеличивая запасы месторождения.

Мощность тела полезного ископаемого часто измеряется по разведочной выработке, пересекающей это тело под случайным углом. Поэтому истинная мощность тела полезного ископаемого устанавливается с учетом соответствующего угла встречи (рис. 1). В случае определения истинной мощности (M_u) в плоскости забоя, не перпендикулярного простиранию тела, применяется формула

$$M_n = M \cdot \cos \beta,$$

где M — измеренная видимая мощность; β — угол, образованный плоскостью забоя с плоскостью, перпендикулярной к простиранию тела.

Если требуется установить истинную мощность наклонно залегающего тела, поперечный размер которого измерен горизонтально, то вводится поправка на угол падения тела (α):

$$M_n = M \cdot \sin \alpha.$$

Если имеет место косое пересечение тела как относительно вертикальной, так и относительно горизонтальной плоскостей, то истинная мощность определяется по формуле

$$M_n = M \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha.$$

Описание тектонических нарушений составляется на основании определения простирания и угла падения зоны нарушения, ее мощности и заполнения (наличие милонитов, глинки трения, минерального выполнения); наблюдений брекчирования, расщепления, следов скольжения (треугольники выкрашивания); определений положения слоев по отношению к плоскости смещения (завороты слоев), типа смещения (сброс, надвиг) и

амплитуды смещения. Особое внимание уделяется установлению возрастных взаимоотношений тектонических трещин и тел полезного ископаемого.

На месторождениях, где большую роль в локализации оруденения играют мелкие трещины (например, месторождения штокверкового типа), изучение их ведется путем замеров трещин с целью выяснения основных рудоносных систем трещин. Кливаж имеет большое значение на месторождениях, сложенных осадочными породами. По ориентировке кливажа можно установить элементы «невидимых» складок, выделить прослой и пачки горных пород.

Складчатые нарушения фиксируются простиранием и углом погружения или изгиба оси складки, размахом крыльев и их симметрией, положением осевой плоскости (нормальная или опрокинутая складка). В моноклинально залегающих осадочных толщах должно уделяться внимание положению и ориентировке мелкой складчатости и плейчатости, которые могут помочь в расшифровке общей складчатой структуры месторождения.

Гипогенные и гипергенные наложенные процессы описываются по схеме:

- метаморфизм пород, метаморфические фации и зоны (хлоритовая, серицитовая, биотитовая, гранатовая и т. д.), границы их распространения, связь с оруденением;

- метасоматические изменения, их тип (щелочной, кремниевый, магнезиально-кальциевый), гидротермальные около рудные изменения (окварцевание, карбонатизация, доломитизация, лиственитизация и т. д.), границы распространения, интенсивность процессов по простиранию и падению рудного тела;

- жильные образования по составу (кварцевые, кварц-карбонатные, карбонатные, сульфидные), их мощности, элементы залегания, внутреннее строение;

- гипергенные изменения (окисление, выщелачивание, лимонитизация, каолинизация), интенсивность проявления и характер развития (площадной, линейный, по зонам нарушения), глубина зоны окисления.

Основные требования, предъявляемые к геологической документации, состоят прежде всего в том, чтобы наблюдаемые факты были возможно более точно отображены в записях, зарисовках, фотографиях; отбор каменного материала должен производиться с такой полнотой, которая необходима для характеристики объекта. Записи должны быть по возможности краткими, но не скудными, они должны отражать основные фактические наблюдения. Количество образцов или шлифов должно быть минимальным, но достаточным для характеристики основных разностей горных пород, полезного ископаемого и особенностей их взаимоотношений.

Большое значение имеет единообразие ведения первичной геологической документации в пределах одного геологического объекта, что достигается применением специальных форм документации, в значительной степени облегчающих работы и повышающих производительность.

Непременным условием единообразия геологической документации является единая система условных обозначений — легенда. Легенда должна отражать все многообразие геологических явлений, наблюдаемых на данном объекте, и в то же время должна быть компактной, легко запоминающейся, контрастной, четкой. Следует избегать условных знаков, которые могут быть неоднозначно истолкованы. Легенда разрабатывается в двух вариантах: цветовом и штриховом для удобства оперативного выполнения различных графических материалов и доводится до сведения каждого исполнителя, занятого геологической документацией (рис. 2).

Хранение первичной документации должно быть организовано так, чтобы это не отражалось на ее качестве и чтобы было удобно ею пользоваться в процессе полевых и камеральных работ. После завершения работ все первичные материалы сдаются в архив на сроки, устанавливаемые соответствующими законоположениями.

Масштабы геологической документации. Детальность документации зависит от масштаба проводимых работ, от целевого назначения выработок и особенностей объекта наблюдения. Зарисовки обнажений и горных выработок, как правило, ведутся в масштабе от 1 : 100. до 1 : 20. Отдельные наиболее интересные места документируются в более крупных масштабах, вплоть до зарисовок в натуральную величину. Колонки буровых скважин, составляемые на основании керна или шлама, выполняются обычно в масштабах 1:100—1:500 в зависимости от глубины скважины и детальности изучения геологического разреза по ней.

На поисково-разведочной стадии и при предварительной разведке месторождения геологические разрезы обычно составляются в том же масштабе, что и геологические карты (1 : 10000—1 : 1000). В таком же масштабе составляются и литолого-стратиграфические колонки. На стадиях детальной и эксплуатационной разведки пого-ризонтные планы и разрезы на детально изучаемых частях месторождения составляются в более крупном масштабе — 1 : 500, 1 : 200.

2. ДОКУМЕНТАЦИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ЕСТЕСТВЕННЫХ ОБНАЖЕНИЙ

Документация горных выработок и естественных обнажений включает геологические зарисовки с натуры плоскостей обнажений (стенок горных выработок, забоев, кровли, почвы) и краткие, четкие описания наблюдаемого геологического разреза горных пород и тел полезного ископаемого, отбор и регистрацию каменного материала.

Зарисовки в горных выработках, которые производятся в масштабах 1:50—1:100 в полевой книжке, представляют собой воспроизведение в некотором масштабе геологических контуров обнаженных горных пород и тел полезного ископаемого, особенности их строения и некоторые отличительные черты наблюдаемых геологических явлений. Совмещенная зарисовка различных плоскостей горных выработок называется разверткой.

Примеры употребляемых в практике разверток даны при описании документации соответствующих горных выработок.

Перед началом работы следует помнить некоторые общие условия и практические приемы документирования горных выработок.

Оборудование, принадлежности и инструменты, необходимые для производства геологической документации: геологический молоток, на ручке которого имеются насечки, соответствующие единицам измерения (дм, см); горный компас с крышкой и зеркалом для удобства фиксирования элементов залегания пород и различных структурных элементов кровли; рулетка тесьмаяная 10-метровая; шнур-ориентир, на котором определенной системой узлов или другим способом отмечаются единицы измерения (один малый узел — 1 м, крупный узел — 5 м, два узла — 10 м и т. д.); лупа 3—4—10-кратная; полевая книжка или журнал, изготовленный из миллиметровой бумаги и прослоенный калькой (для вынесения в дальнейшем данных геохимических, геофизических и других исследований); карандаши простые и цветные, резинка карандашная; масштабная линейка; перочинный ножик; кусок мела для отметки характерных контуров, границ разрывных нарушений, складок и др.; соляная кислота в специальном сосуде; зубила и небольшая кувалда для откалывания образцов крепких горных пород; мешочки для образцов и геохимических проб; этикетки для образцов; карбидная или аккумуляторная лампа (при работах подземных).

Необходимыми условиями производства геологической документации горных выработок является соблюдение правил техники безопасности и надлежащая подготовка рабочего места.

Прежде всего необходимо обезопасить рабочее место — ликвидировать заколы, козырьки и отслоения горных пород. Затем следует очистить от грязи и пыли плоскости, подлежащие документации (если есть возможность, с помощью воды и грубой щетки).

Производство геологической документации начинается с осмотра выработки с целью определения ее общих габаритов, примерного геологического разреза и установления наиболее интересных явлений и особенностей, на которые необходимо обратить должное внимание. Интересующие контуры и границы при этом отмечаются мелом или копотью пламени карбидной лампы.

Обычно документирование горных выработок ведется с помощью шнура-ориентира, от которого по нормали рулеткой определяются расстояния до геологических границ и отдельных объектов наблюдения. Но часто в практике, например при зарисовке высоко расположенной кровли и в других случаях, когда нет возможности произвести точные замеры, пользуются методом визуального провешивания нормалей и приблизительного определения расстояний между пунктами и границами, изображаемыми на зарисовке. Контуры горных выработок и положение геологических границ в этих случаях уточняются впоследствии при составлении чистовых зарисовок на маркшейдерской основе.

В зависимости от сложности геологического разреза, вскрываемого горной выработкой, зарисовывается одна или две стенки либо делается полная развертка, сопровождаемая подробным текстовым описанием в полевой книжке. Но независимо от количества зарисовываемых плоскостей, геологические наблюдения ведутся по всей горной выработке, что обязательно отражается в журнале. Наиболее интересные наблюдения зарисовываются и описываются подробнее.

Привязка горных выработок производится маркшейдерской службой. Вся геологическая документация — как черновая, составляемая в выработке, так и чистовая, выполняемая в камеральном помещении, — должна быть увязана с маркшейдерскими планами и разрезами.

Документация шурфов и дудок. Зарисовка шурфов производится по способу развертки (рис.3). Особенности документации шурфов связаны с их размерами. Глубокие шурфы, которые йрепятся, документируются поинтервально в перерывах между их проходкой. Мелкие шурфы документируются после их полной проходки. При документации дудок (шурфов цилиндрической формы) применяются четыре шнура-отвеса, создающие условные грани-стенки, которые зарисовываются в виде плоскостей по способу развертки, аналогично шурфам. Если дудка имеет небольшие размеры, углубляясь в коренные породы до 0,5—1,0 м, или вскрывает простой геологический разрез, то зарисовка составляется в виде колонки-разреза, ориентированного вкрест простирания пород. Для удобства документации сложных геологических разрезов по стенкам шурфов и дудок могут провешиваться дополнительные шнуры-отвесы. Масштабы документации шурфов 1 : 20—1 : 50.

Документация вреза. Врез представляет собой частично открытую горизонтальную горную выработку трапециевидного сечения, применяемую для вскрытия выходов тел полезных ископаемых в условиях сильно расчлененного рельефа. Врезы как самостоятельные разведочные выработки проходятся в нескольких пунктах вдоль выходов тела полезного ископаемого, с углублением на 1—2 м в коренные породы. Врезом начинается проходка штольни и он, являясь устьем выработки на косогоре, как правило, полностью закрепляется.

Зарисовка стенок вреза и его забоя производится в виде развертки на вертикальную плоскость (рис. 4). В зависимости от конкретных условий иногда достаточно зарисовки одной стенки и забоя или даже одного забоя. Если врез служит началом штольни, то при его документации важно отметить репер устья штольни, от которого затем будет вестись измерение ее длины.

Документация подземных горных выработок ведется обычно параллельно с их проходкой, что ограничивает по времени возможности наблюдений, зарисовок и описаний с перерывами в проходческом цикле. Поэтому подземная документация требует особого внимания и тщательного выполнения зарисовок и записей.

Широко применяемый в геологической практике метод развертки при зарисовке горизонтальных горных выработок имеет некоторые особенности, связанные с невозможностью документирования почвы горных выработок и с необходимостью в то же время иметь первичные материалы, удобные при составлении сводной геологической документации — разрезов, погоризонтных планов. Существуют три основных способа разверток: прямой, зеркальный и комбинированный (рис. 5). При прямом способе, как показано на рис. 66, а, стенки выработки и кровля как бы совмещаются в одной плоскости, повернутой для удобства зарисовки на 180°. При этом геологические границы показываются непрерывным контуром. При зеркальном способе (рис. 5б) стенки выработки развертываются в плоскости кровли и изображение геологических элементов проектируется сверху вниз. 1а рисовка по сути дела представляет собой зеркальное отображение этого изображения в плоскости. На практике чаще применяют третий, комбинированный способ развертки, когда стенки выработки зарисовываются как проекции на вертикальные плоскости, а кровля рисуется в зеркальном отражении. В случае прямой развертки при построении погоризонтных планов зеркальную проекцию кровли получают путем копирования зарисовки на кальку на светостоле. Этому существенного недостатка прямой развертки лишены второй и третий способы, при которых кровля зарисовывается в зеркальном отражении — в проекции ее на горизонтальную плоскость. Второй способ более нагляден, так как дает возможность непрерывного прослеживания геологических контуров. Но он не очень удобен в технике зарисовки и, кроме того, совмещение в одной плоскости контуров стенки и кровли выработок практически невозможно, если выработка имеет повороты.

Непременным условием документации подземных горных выработок в пределах одного участка или месторождения является применение системы единой развертки для удобства сопоставления данных по отдельным выработкам при составлении сводной геологической документации.

Геологическая документация естественных обнажений производится на всех стадиях геологоразведочных работ с детальностью, обеспечивающей решение стоящих перед этими работами задач. Документация естественных обнажений дает возможность определения взаимоотношений пород, крупных и локальных разрывных и складчатых структур, особенностей их строения, элементы залегания, ландшафтные условия. Это достигается как зарисовками, так и фотографированием.

Основные требования к документации естественных обнажений заключаются в следующем:

фотографии и зарисовки должны быть однозначно привязаны и понятно ориентированы;

масштаб документации должен соответствовать принятому масштабу работ, излишние детали и подробности затрудняют интерпретацию

первичного материала; наиболее интересные и характерные детали можно документировать в более крупном масштабе;

при фотографировании и зарисовке глубоко врезанных бортов долин необходимо четко замерять углы падения пород во избежание ложного толкования элементов залегания за счет искажения линий выходов слоев на склонах долины.

3. ДОКУМЕНТАЦИЯ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Основными первичными материалами по скважинам являются:

Сведения о наблюдениях в процессе бурения, фиксируемые в буровом журнале, керн, шлам и осадки буровой мути. В буровой журнал, Гоставленный по определенной форме, заносятся данные о заложении г к нажины, ее координаты, конструкция, режимы бурения, для наклонных скважин — азимут направления ствола и угол наклона. В процессе бурения в журнал вносятся данные по каждому рейсу проходки: длина поднятой колонки керна и название горной породы.

Буровой керн укладывается в специальные деревянные ящики и порядке поступления из колонковой трубы сверху вниз и слева направо. Каждый интервал керна отмечается биркой, на которой несмываемым карандашом делается запись: название месторождения, участок, номер скважины, интервал бурения, длина колонки керна, диаметр скважины, название горной породы, подпись сменного бурового мастера и дата. Если есть возможность, отдельные кусочки бурового керна номеруются и стрелкой указывается их ориентировка. Буровой шлам и осадок буровой мути запаковываются в мешочки, в которые вкладывается этикетка или бирка с указанием скважины и интервала бурения. При укладке керна производят ориентировку отдельных кусков относительно оси скважины по направлению слоистости или другим текстурным и структурным элементам, пространственное положение которых на данном участке и, следовательно, в пределах разреза, вскрываемого скважиной, не вызывает сомнения и может толковаться однозначно. В изверженных горных породах в определении пространственного положения керна может помочь ориентировка темноцветных минералов, флюидальность, шлиры и другие характерные элементы текстуры и структуры.

Обычная зарисовка по разрезу буровых скважин составляется в масштабах 1:100—1: 500, а важные детали керна — в масштабах 1 : 5—1 : 20. Зарисовка выполняется в виде проекции на плоскость сечения, проходящего вдоль оси скважины (рис. 6). Она обычно производится по интервалам проходки, причем каждая плашка керна фиксируется отдельно. В случае, если скважина пересекает разрез хорошо исследованных пород, зарисовываются только рудные и наиболее интересные интервалы керна (отдельные включения, контакты пород, пересечения прожилков и трещин). На зарисовках указывают номер скважины, глубины подъема, мощности,

углы встречи трещин и контактов с осью керна, места взятия и номера образцов, интервалы опробования, номера проб.

Описание керна ведется по каждому интервалу проходки отдельно или обобщенно по нескольким смежным интервалам, если скважина вскрывает одну и ту же породу. Наиболее детально описываются интервалы проходки по телу полезного ископаемого. Здесь особенно важно определить угол встречи контактов рудного тела с осью керна для того, чтобы иметь представления об истинной мощности тела полезного ископаемого и под каким углом скважина его пересекает («угол встречи»).

Первичная документация буровой скважины заканчивается составлением колонки-разреза, которая является суммой первичных полевых наблюдений. На колонку-разрез кроме указанных выше сведений выносятся результаты геофизических исследований (электрокаротаж, гамма-каротаж, данные инклинометрии) и результаты анализа проб. В краткой геологической характеристике при этом приводится обобщенное описание горных пород вскрываемого разреза. Колонка-разрез по скважине является обобщенным первичным документом, который используется при составлении сводной геологической документации.

ПРИЛОЖЕНИЕ

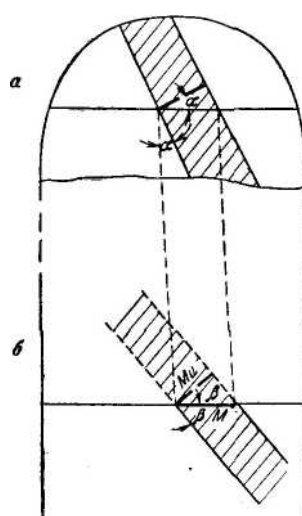


Рис. 1. Построения для определения истинной мощности тела полезного ископаемого
a — забой; *б* — участок забоя в плане

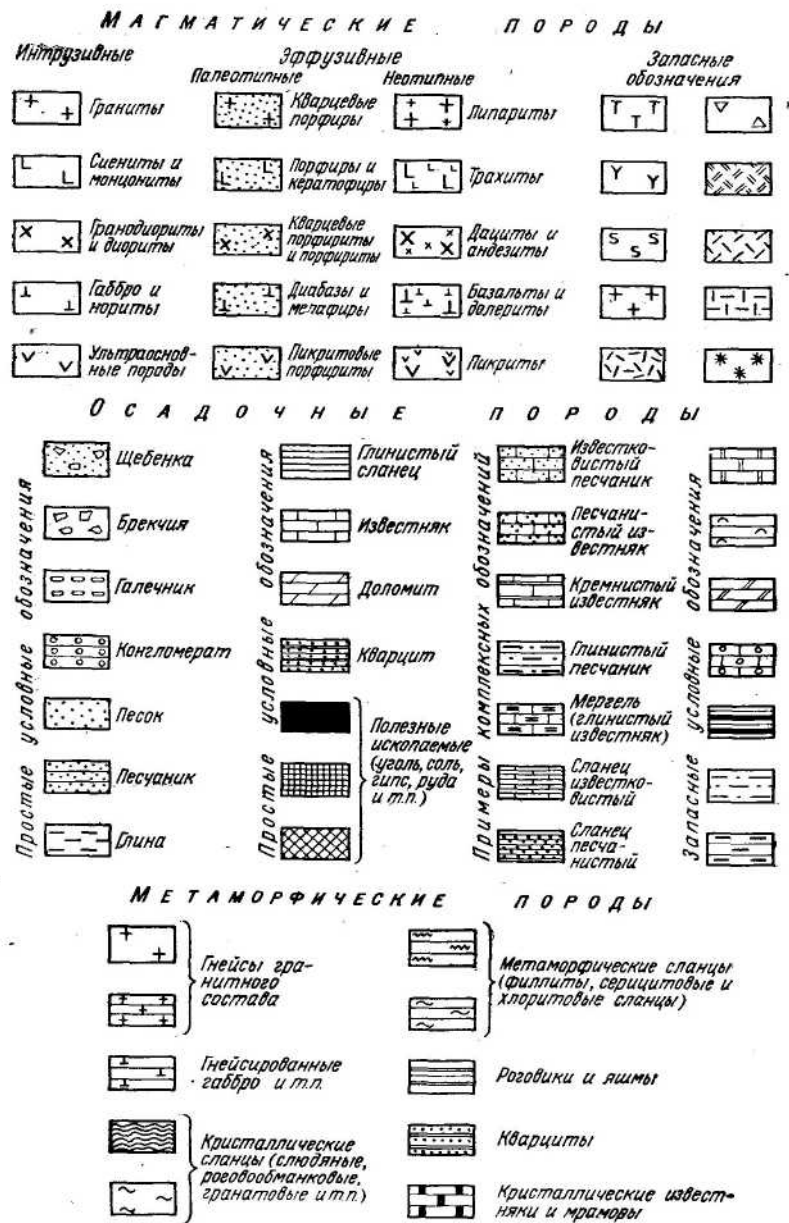


Рис. 2. Вариант легенды для документации при разведке

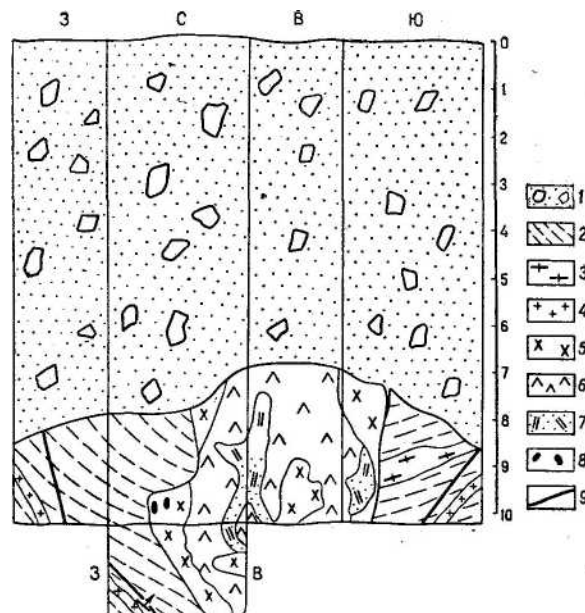


Рис. 3. Документация шурфа

1 — моренные отложения; 2 — биотитовые гнейсы; 3 — амфиболовые гнейсы; 4 — дайка аплитов; 5 — пегматиты гранитной структуры; 6 — пегматиты апографиче-ской структуры; 7 — кварц-мусковитовые образования; 8 — биотит; 9 — разрывные нарушения

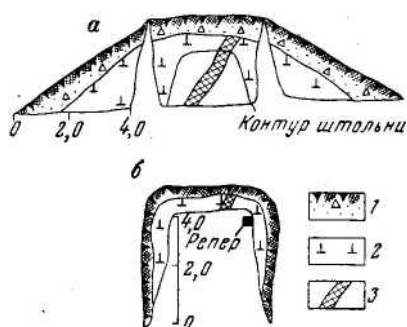


Рис. 4. Документация вреза:

а — развертка; б — план 1 — рыхлые, отложения; 2 — туфы основного состава; 3 — рудное тело

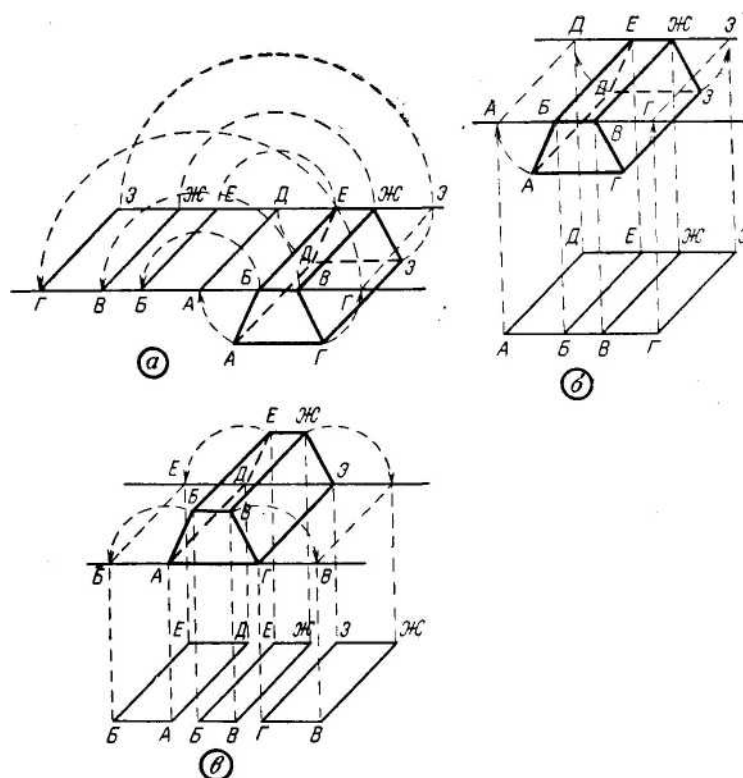


Рис. 5. Способы развертки при документации подземных горных выработок
а — прямая развертка; б — зеркальная развертка; в — комбинированная развертка

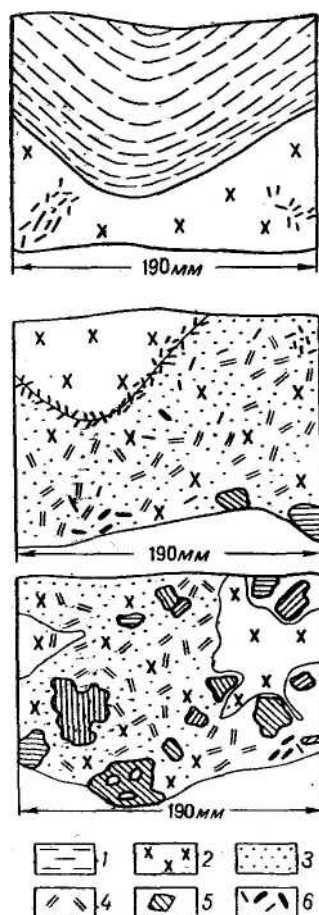


Рис. 6. Зарисовки керна

1 — гнейсы; 2 — граниты; 3 — включения серицита; 4 — пластинки мусковита; 5 — ксенолиты метаморфических сланцев; 6 — вкрапленность сульфидов

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**1. ЗАДАЧИ РУДНИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ**

Рудничной геологией называют геологическое обслуживание рудников в процессе их эксплуатации, геологическое обслуживание угледобывающих шахт — шахтной геологией. Задачи рудничной геологии принято делить на две группы.

Первая группа задач сводится к углубленному геологическому изучению разрабатываемого месторождения и его ближайших окрестностей с целью расширения перспективы развития горного предприятия (запасы $C_1 + C_2$), т. е. продления срока его существования, увеличения производственной мощности или обоснования капиталовложений на реконструкцию. В эту группу входят следующие частные задачи.

1. Обнаружение и разведка новых тел полезного ископаемого, в том числе апофиз, параллельных и слепых тел. Для решения этой задачи требуется дальнейшее всестороннее геологическое изучение месторождения и его окрестностей путем наземного и подземного геологического картирования в сочетании с разведочными работами, выполняемыми с соблюдением общепринятой их стадийности. Успешное выполнение этой задачи обеспечивается своевременной научной обработкой всех материалов по геологии, разведке и эксплуатации месторождений, изучением факторов, контролирующих пространственное размещение тел полезного ископаемого и рудных столбов.

2. Доразведка флангов, глубоких горизонтов и сброшенных частей месторождения на базе углубленного изучения прежде всего его структуры с применением необходимых разведочных работ.

3. Вовлечение в отработку некондиционного полезного ископаемого, использование отвалов убогих руд, пустых пород, хвостов и других отходов на базе углубленного изучения их физических свойств, минерального и элементарного состава, рациональных схем обогащения, экономических факторов. Решение этой задачи должно осуществляться, не только путем комплексного использования полезного ископаемого, т. е. извлечения из него по возможности всех полезных компонентов, но и в плане использования попутно добываемых явно пустых пород, которые могут потребляться как строительный, декоративный или абразивный материал (например, гранат- или корундсодержащие породы);

Вторая группа задач связана с помощью горному и перерабатывающим цехам в оперативном и перспективном планировании, а также в управлении технологией добычи и переработки сырья. Сюда входят следующие частные задачи.

1. Руководство эксплуатационной разведкой с целью обеспечения рудника разведанными запасами ($A + B$) для выполнения производ-

ственной программы, подготовка геологических материалов для планирования и участие в планировании добычи полезного ископаемого.

2. Контроль качества подготавливаемого к добыче, добываемого и выдаваемого полезного ископаемого путем систематического опробования. Участие в регулировании добычных работ с целью непрерывного обеспечения выдаваемой горной массы с заданными потребителем качественными показателями.

3. Участие в нормировании горных и буровых работ на основе изучения физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород.

4. Борьба с потерями и разубоживанием полезного ископаемого, для чего требуется систематическая геологическая документация очистных выработок, опробование полезного ископаемого в забоях, вагонетках, отвалах, а также сопоставление по геологическим и маркшейдерским документам действительных контуров тел полезного ископаемого с отработанными контурами.

5. Оперативный учет совместно с маркшейдерской службой движения запасов, а также фактических потерь и разубоживания полезного ископаемого.

6. Изучение гидрогеологических и горнотехнических условий эксплуатации месторождения: водопритоков в горные выработки, устойчивости, крепости и разрыхляемости горных пород и полезного ископаемого.

7. Определение достоверности всех данных разведки.

8. Проведение консультации работников горного и обогащенного цехов по всем геологическим вопросам.

Кроме того, рудничная геологическая служба определяет инженерно-геологические условия для текущего промышленного и гражданского строительства на горном предприятии, ведет для него поиски и разведку строительных материалов, помогает в правильном размещении отвалов; составляет геологические отчеты, различные справки, методические указания и инструкции по всем видам геологической деятельности на руднике, включая и вопросы техники безопасности для работников геологической службы.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Геологическая служба создается одновременно с организацией и строительством горного предприятия. Форма ее организации и штатный состав зависят от ряда непостоянных факторов: масштабов добычи, характера и степени сложности эксплуатируемых месторождений; состава и характера горнорудных предприятий; системы отработки месторождения и т. п. Поэтому единой схемы организации геологической службы пока не существует. Чаще всего геологическая служба организуется применительно к

структуре горнодобывающих предприятий: комбинат-»-рудоуправление или шахтоуправление-рудник или шахта —»добычной участок.

В составе комбината и рудоуправлений (шахтоуправлений) создаются геологические отделы или бюро, подчиняющиеся руководству комбината или рудоуправления (шахтоуправления). Геологический отдел комбината возглавляется главным геологом комбината, имеющим в своем подчинении одного-двух старших геологов и одного-двух чертежников. В приведенной схеме звено рудоуправление — шахтоуправление иногда отсутствует. В этом случае геологические отделы создаются непосредственно на рудниках или шахтах и подчиняются главному геологу комбината. Геологический отдел рудоуправления или рудника (шахты) возглавляется главным геологом, в подчинении которого находятся несколько рудничных, шахтных или участковых геологов (с младшим техническим персоналом), гидрогеолог, а также специальная группа, ведущая эксплуатационную разведку. Кроме того, иногда создается камеральная группа по обработке и обобщению первичных материалов. Однако чаще всего этим занимаются сами рудничные и участковые геологи, а в камеральную группу входят лишь один-два чертежника. В зависимости от объемов работ в распоряжении рудничных и участковых геологов находится определенное число техников-геологов, коллекторов и пробоотборщиков.

Рудничные, шахтные и участковые геологи работают в тесном контакте с работниками маркшейдерской службы, с начальниками и техническими руководителями рудников, шахт и участков, работниками технического контроля, техники безопасности и др. Поэтому правильная организация взаимодействия между перечисленными службами, а также порядок разрешения спорных вопросов имеют первостепенное значение.

В период организации и строительства горнодобывающего предприятия работники геологической службы занимаются такими вопросами, как проверка строительных площадок на безрудность, геологическая документация вскрышных выработок (шахт, разрезных траншей) и опережающих их скважин. Одновременно осуществляются следующие организационные мероприятия, представляющие собой начало деятельности рудничной (шахтной) геологической службы.

1. Анализ и обобщение всех имеющихся по месторождению геологоразведочных и других материалов с целью выяснения вопросов, подлежащих уточнению в связи с началом разработки месторождения. Первостепенное значение имеют:

а) геологоразведочные отчеты и приложения к ним, освещающие результаты предшествующих стадий разведки, а также отчеты по тематическим научным исследованиям;

б) протоколы ГКЗ по рассмотрению и утверждению запасов и отчетов, рецензии и протоколы НТС по отчетам о выполненных исследовательских работах. В этих документах содержатся указания на недостатки проведенных работ, а также рекомендации о путях их устранения;

в) технический проект обработки месторождения, в котором основное внимание обращается на соответствие проектных решений особенностям геологического строения месторождения и отдельных тел полезного ископаемого, особенно в отношении охраны и рационального использования недр, максимального извлечения запасов и комплексного использования руд, возможной утилизации пустых пород и т. п. В случае обнаружения какого-либо несоответствия или неточностей геологическая служба должна представить на рассмотрение вышестоящих инстанций замечания и предложения, подкрепленные необходимой графикой и расчетами.

2. Проверка степени достоверности подсчета запасов и определения качества полезного ископаемого по месторождению, участкам и отдельным блокам. Результаты такой проверки могут повлиять на проведение границ вскрышных работ, амортизационные сроки предприятия, и т. п. Вначале достоверность проверяется расчетами и сопоставлениями при различных вариантах проведения подсчетных контуров. По мере развития подготовительных и добычных работ проверка осуществляется путем сопоставления данных разведки с данными эксплуатации.

3. Оформление легенды и подбор эталонной коллекции руд и пород. Это мероприятие имеет весьма важное значение в связи с необходимостью повседневной увязки результатов геологической документации, проводимой на различных горизонтах и участках месторождения разными исполнителями.

Выбор условных обозначений обычно базируется на легенде, сложившейся в процессе предшествующего изучения месторождения и апробированной в ГКЗ.

Квалифицированно составленная эталонная коллекция имеет важное значение в повышении общего уровня геологической службы на действующих горных предприятиях.

Кроме эталонной коллекции при геологических отделах комбинатов, рудоуправлений и на отдельных рудниках создаются геологические музеи или витрины музейного типа, которые пополняются по мере развития горных работ и появления новых экспонатов. Музеи служат базой для научных исследований, распространения научных знаний среди населения, подбора экспонатов для всесоюзных и вузовских геологических музеев и т. п.

4. Выработка рациональной системы геологической документации и опробования. Система документации и опробования выработок эксплуатационной разведки обычно та же, что и при детальной разведке. В зависимости от результатов апробации окончательного отчета в ГКЗ она принимается полностью или с соответствующими изменениями и дополнениями.

5. Уточнение физических свойств руд и пород, а также их классификации. Это необходимо в связи с тем, что в период разведки месторождения выход керна в среднем часто не превышает 60—70%. Следовательно, значительные объемы горных пород и руд остаются не оха-

рактеризованными в отношении состава, физических свойств, степени трещиноватости и т. п. Кроме того, определения физических свойств, а в некоторых случаях и качественных показателей по керну, могут быть не достаточно надежными (например, объемной массы, трещиноватости, пористости, разрыхляемости, содержания полезных компонентов и т. п.). При устранении этих пробелов сначала по имеющимся данным выделяют интервалы глубин или участки месторождения, в пределах которых требуется проведение дополнительного изучения. Затем по мере вскрытия таких участков горными выработками проводятся дополнительные наблюдения, определения и анализы обычными методами и в необходимом количестве.

6. Составление инструкций по геологическому обслуживанию. Эти документы составляются главным геологом предприятия (комбината или рудоуправления) и утверждаются директором или главным инженером. В них должны найти отражение следующие вопросы:

- 1) задачи и структура геологической службы на данном предприятии;
- 2) оборудование и снаряжение геологической службы;
- 3) порядок нумерации разведочных и других выработок и скважин;
- 4) условные обозначения и методика геологической документации и опробования различных разведочных, подготовительных, нарезных и очистных выработок, а также разведочных и буровзрывных скважин;
- 5) содержание, масштабы и методика составления погоризонтных геологических планов, карт и разрезов;
- 6) задачи, последовательность и методика обработки материалов первичной геологической документации выработок и скважин, а также каменного материала и результатов опробования;
- 7) методика и сроки учета потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче;
- 8) методика оперативного подсчета запасов и определения средних значений геолого-промышленных параметров в недрах, а также средних содержаний полезных компонентов в добытом и товарном полезном ископаемом;
- 9) права и обязанности работников геологической службы;
- 10) основные правила по технике безопасности в процессе эксплуатационной разведки и геологического обслуживания добычных работ. Без сдачи экзамена по технике безопасности на данном предприятии работники геологической службы к работе не допускаются.

3. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА, ЕЕ ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ

Проектирование и строительство горного предприятия осуществляется после окончания детальной разведки, в результате которой достигается необходимое для проектирования соотношение запасов категорий А, В и С₁. При этом запасы категории С₁ могут составлять 60— 70% и более от суммы

промышленных запасов месторождения. Для обоснования текущего производственного планирования запасы на участках добычных работ должны по степени разведанности и изученности соответствовать категориям А и В. Перевод разведанных запасов из низших категорий в более высокие осуществляется в стадию эксплуатационной разведки.

Основная задача эксплуатационной разведки состоит в уточнении контуров тел полезного ископаемого, его запасов и качества с целью получения надежных геологических данных и материалов для обоснованного планирования и регулирования эксплуатационных горных работ, т. е. для составления годовых, квартальных и месячных планов, а также декадных (недельных) и суточных графиков добычи полезного ископаемого с учетом возможности его комплексного использования.

Решение этой задачи осуществляется за счет основных фондов предприятия путем сгущения сети выработок детальной разведки в ходе проведения горноподготовительных, нарезных и очистных выработок, а также широкого использования результатов геологической документации и опробования последних.

Густота разведочной сети должна быть такой, которая позволит определить средние значения геолого-промышленных параметров и подсчитать запасы с определенной, заранее заданной точностью. Особенно это касается пространственного распределения, количественных соотношений и комплексности различных сортов и технологических разновидностей полезного ископаемого в пределах эксплуатационных блоков или уступов карьеров.

В результате эксплуатационной разведки может произойти некоторое увеличение или уменьшение сырьевой базы предприятия: первое — за счет обнаружения новых апофиз, рудных столбов, а также параллельных и слепых тел полезного ископаемого, расположенных в непосредственной близости от отрабатываемого тела; вовлечения в отработку некондиционных руд, второе — за счет наличия пережимов, безрудных окон и т. п.

В отличие от предварительной и отчасти детальной разведки эксплуатационная разведка характеризуется следующими особенностями:

а) проводится не на всем месторождении одновременно, а последовательно от верхних горизонтов к нижним, от центра месторождения к его флангам, опережая добычные работы не более чем на один-два года. Опережение на больший срок не рекомендуется во избежание преждевременных затрат и замораживания средств, поскольку объемы работ на этой стадии увеличиваются обычно в 2—4 раза по сравнению с детальной разведкой;

б) выбор системы эксплуатационной разведки и плотность ее сети зависят не только от известных общих факторов, но и от технологии добычи и переработки полезного ископаемого: валовая или селективная выемка, допустимые пределы разубоживания, способ обогащения и т. п.;

в) выработки и скважины эксплуатационной разведки проходят большей частью из подготовительных, нарезных и очистных выработок, а также из выработок, пройденных на стадиях предварительной и детальной разведки;

г) последовательность проведения эксплуатационной разведки, ее пространственная приуроченность и допустимые пределы опережения ею добычных работ определяют следующие особенности: разведочные выработки на этой стадии в подавляющем большинстве короткие и могут не пересекать всю мощность полезного ископаемого и не проследить его на большие расстояния по простиранию и падению (на стадиях предварительной и детальной разведки такие выработки считаются неполноценными или бросовыми).

При подземной добыче большая часть выработок эксплуатационной разведки проходится на основных и подэтажных горизонтах. При этом применяются исключительно комбинированные горно-буровые (панельные и блоковые) системы разведки в сочетании с геофизическими методами (радиоволновое просвечивание, электроразведка, гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж, магнитный каротаж и др.). Короткометражные колонковые скважины (изредка длинные шпуры) часто бурятся веерами как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Конечная плотность сети выработок, включая подготовительные и нарезные, нередко достигает 12х12 м и даже 6х6 м.

В общем случае при подземной отработке степень детальности эксплуатационной разведки должны быть тем больше, чем выше производительность принятой системы выемки полезного ископаемого, больше размеры эксплуатационных блоков и т. п. Например, детальность разведки больше при системе этажного обрушения по сравнению с системами слоевой выемки и магазинирования. При открытой разработке эксплуатационная разведка осуществляется панельной системой колонковых скважин, иногда в сочетании с контрольными шурфами (например, при разведке россыпей, строительных материалов и др.). По сравнению с детальной разведкой сеть выработок сгущается в 2—4 раза и более; однако она не бывает гуще 12,5х12,5 м. Последнее обусловлено тем, что, во-первых, открытым способом отрабатываются обычно крупные месторождения, которые разведываются на стадии детальной разведки по более редкой сети, а во-вторых, — при открытой разработке большие обнажения рудных тел можно документировать непосредственно в уступах карьеров.

К специальным вопросам эксплуатационной разведки относятся уточнение границ вскрышных работ и границ сдвижения горных пород при отработке, выяснение наличия больших пустот и характера их выполнения, трещиноватых обводненных зон перед фронтом работ по проходке капитальных выработок. Эти вопросы решаются с помощью бурения опережающих скважин, в том числе и глубоких (для уточнения границ вскрыши и сдвижения пород).

Несвоевременное решение перечисленных вопросов может вызвать катастрофические последствия: внезапные затопления шахт и выбросы газов, провалы и обвалы в шахтах и карьерах и т. п. Даже если пустоты заполнены только воздухом, при сообщении с ними горных выработок вследствие обвала кровли или стенок пустот может произойти катастрофический толчок воздуха.

4. УЧЕТ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ, ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДР

К потерям относится неизвлеченная часть запасов полезного ископаемого, оставшаяся в недрах в силу неблагоприятных геологических или гидрогеологических условий, а также по горнотехническим или организационным причинам. Возможны потери, обусловленные стремлением извлечь из недр только самые легкодоступные и самые богатые части месторождения.

Различают потери временные, к которым относятся запасы во временных охранных целиках, временно затопленные (обводненные) и т. п. и постоянные, или безвозвратные, представляющие собой запасы, оставляемые в недрах навсегда.

Разубоживанием называется засорение полезного ископаемого пустыми или слабо оруденелыми породами, в результате чего ухудшается его качество или снижается в нем содержание полезных компонентов. Разубоживание может возникать также в результате потерь наиболее богатой части полезного ископаемого в охранных целиках, при отработке (богатая мелкая фракция попадает в закладку) или при транспортировке.

Потери и разубоживание обычно тесно взаимосвязаны. Причины их возникновения и виды классифицируются следующим образом.

1. Потери и разубоживание, связанные с геологическими и гидрогеологическими условиями:

а) крепко спаянные контакты между полезным ископаемым и вмещающими породами («прикипание» руды) — при отбойке часть полезного ископаемого остается в стенках очистных камер, а часть пустых пород попадает в отбитую горную массу;

б) нечеткие или неровные контакты и небольшие мощности тел полезного ископаемого — часть полезного ископаемого также остается в стенках или вместе с ним добывается некоторое количество пустых пород;

в) тектоническая нарушенность (неустойчивость) полезного ископаемого и вмещающих пород;

г) большая водообильность или водоприток, препятствующие экономически целесообразной разработке;

д) появление безрудных окон или включений (даек), не установленных в процессе разведки.

2. Потери и разубоживание, зависящие от систем разработки:

а) потери в целиках и одновременно разубоживание, если целики представлены наиболее богатой частью полезного ископаемого;

б) потери в очистных камерах из-за невозможности выпуска всей отбитой горной массы, например, при системах с магазинированием и обрушения;

в) потери за счет попадания богатой мелочи или глыб полезного ископаемого в закладку. Известны случаи, когда по этой причине приходилось повторно отрабатывать закладку (например, на Ачи-сае, Са-доне и др.).

3. Потери и разубоживание, вызванные организационными причинами:

а) неправильное (не соответствующее проекту или геологическим условиям) ведение очистной выемки;

б) потери полезного ископаемого при несоблюдении правил транспортировки.

Для расчета потерь и разубоживания необходимо иметь:

а) данные о количестве запасов и качественной характеристике полезного ископаемого в недрах, по отрабатываемым участкам или эксплуатационным блокам;

б) данные о количестве и качестве добытой горной массы по участкам и блокам добычи;

в) материалы геологической документации и маркшейдерских съемок по горизонтам, блокам и очистным камерам.

Сбор перечисленных данных ведется непрерывно в процессе эксплуатационной разведки, геолого-маркшейдерского обслуживания подготовительных и эксплуатационных выработок и опробования товарных руд работниками ОТК, а обобщение их и соответствующие расчеты выполняются один раз в месяц или в квартал по нескольким блокам, горизонтам или участкам месторождения.

Величины потерь и разубоживания находятся из следующих уравнений баланса полезного ископаемого и полезного компонента:

$$Д = Б + В - П \text{ или } Д \cdot а = (Б \cdot с) + (В \cdot в) - (П \cdot п)$$

где $Д$ — количество добытого полезного ископаемого (горной массы), т или $м^3$; $Б$ — запасы полезного ископаемого в недрах (погашенные балансовые запасы), т или $м^3$; $П$ — количество потерянных балансовых запасов полезного ископаемого, т или $м^3$; $В$ — количество разубоживающей породы или забалансовых руд в добытой горной массе, т или $м^3$; $с$ — содержание компонента в полезном ископаемом (в недрах), %, г/т или $г/м^3$; $а$ — содержание компонента в добытой горной массе, %, г/т или $г/м^3$; $в$ — содержание компонента в разубоживающей полезное ископаемое породе, %, г/т или $г/м^3$; $п$ — содержание компонента в потерянном полезном ископаемом, %, г/т или $г/м^3$.

Потери полезного компонента $ГУ$ (в %) определяют по формуле

$$П' = 1 - \frac{Д(а - в)}{Б(с - в)} \cdot 100.$$

Если содержание полезного компонента в разубоживающей породе равно нулю, то формула примет вид:

$$\Pi' = \left(1 - \frac{Д \cdot а}{Б \cdot с}\right) \cdot 100.$$

Количество потерянного полезного ископаемого в абсолютной величине (в т, м³) определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{Б \cdot \Pi'}{100}.$$

Если содержание одного компонента не является показателем кондиционности полезного ископаемого (огнеупорные глины, известняки, доломиты и др то потери определяются в абсолютных цифрах как разность между балансовыми запасами погашенного участка и добытым на этом участке количеством полезного ископаемого, из которого удалена разубоживающая порода.

В некоторых случаях потери могут быть определены непосредственными замерами и подсчетами, например, временные и безвозвратные потери в охранных целиках, Сопутствующих телах и т. п. Потери на обводненных, затопленных, или на участках, опасных в пожарном отношении, определяются цифрами подсчитанных на этих участках запасов. Добытое, но не используемое по любым причинам полезное ископаемое к потерям не относится.

Разубоживание Р полезного ископаемого по содержанию в нем полезного компонента (в %) определяется по формуле:

$$Р = \left(1 - \frac{а - б}{с - б}\right).$$

Если разубоживающая порода не содержит полезных компонентов, то формула принимает вид:

$$Р = \left(1 - \frac{а}{с}\right) \cdot 100.$$

Количество породы, разубоживающей полезное ископаемое, определяется маркшейдерскими замерами, сортировкой и взвешиванием или по формулам:

$$В = Д \cdot Р \text{ или } В = Д \cdot \frac{с - а}{с - б}.$$

Маркшейдерскими замерами определяют объем выработанного пространства, а в ряде случаев и объем вынутого полезного ископаемого (при простом строении тел). Умножением разницы объемов на среднюю объемную массу разубоживающих пород получают тоннаж последних. При сложном строении тел полезного ископаемого, т. е. при наличии в них безрудных прослоев или включений, объем последних и объем полезного ископаемого определяют по геологическим зарисовкам очистных забоев, так как фактические объемы в этом случае могут сильно отличаться от объемов, подсчитанных до отработки.

При расчетах потерь и разубоживания используют результаты рассмотренного выше позабойного опробования добываемого полезного ископаемого и опробования выдаваемой горной массы, а также данные автоматического взвешивания или подсчета транспортных емкостей.

При учете потерь и разубоживания иногда проводится дополнительное опробование очистных забоев, камер, разубоживающих пород, отвалов и т. п.

Снижение потерь и разубоживания полезного ископаемого наряду с комплексным его использованием, утилизацией попутно добываемых пустых пород и отходов производства является важным фактором оптимального использования недр. В масштабе страны потери составляют весьма значительную цифру, хотя на ряде рудников они невелики. Например, при открытой разработке железорудных месторождений фактические потери обычно колеблются в пределах 1—5%, а разубоживание— от 2 до 10—15%. При подземной разработке руд черных и цветных металлов фактические потери колеблются от 4 до 25%, а разубоживание— от 5 до 30%. При разработке калийных солей подземным способом потери достигают 50% и более.

Поэтому оптимальное использование недр имеет общегосударственное значение. Сбережение лишь 1 % от общего количества добываемых полезных ископаемых равнозначно дополнительному вовлечению в производство миллионов тонн металлов, удобрений, различных химических продуктов, строительных и других материалов.

Анализом и устранением причин потерь и разубоживания занимаются работники горного, геологического и маркшейдерского отделов контролируемых представителями Госгортехнадзора.

Рудничные геологи следят прежде всего за тем, чтобы проходка нарезных и очистных выработок не останавливалась раньше выхода их из полезного ископаемого и не продолжалась за его промышленными границами, а также чтобы не оставлялись в недрах апофизы и маломощные тела кондиционного полезного ископаемого и отбитая горная масса (в очистных камерах). Кроме того, геологическая служба контролирует списание запасов по геологическим или горнотехническим причинам; изучает возможность перевода забалансовых руд в балансовые; обеспечивает соблюдение Основ законодательства о недрах.

Работники горного цеха совместно с геологами контролируют сортировку, погрузку и транспортировку полезного ископаемого, не допуская перегрузки или недогрузки транспортных средств, потерь полезного ископаемого при транспортировке, выгрузки его в отвалы безрудных пород; обеспечивают селективную выемку разубоживающих пород.

Важное значение для уменьшения потерь имеет совершенствование технологии добычи и переработки полезного ископаемого (полнота отработки и комплексность извлечения полезных компонентов, переработка отвалов убогих руд и хвостов обогатительных фабрик).

5. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Объемы добычи полезных ископаемых на современных крупных карьерах и шахтах с высоким уровнем механизации добычных работ

достигают 30—60 млн. т, а вместе со вскрышными породами — сотен миллионов тонн. Чем выше уровень механизации и производительность горнодобывающего предприятия, тем точнее и оперативнее должна работать геологическая служба. Рудничным и шахтным геологам приходится не только решать повседневные задачи, но и прогнозировать возможные изменения геологической ситуации перед фронтом добычных работ и последствия этих изменений. Это касается практически всех геологических вопросов: структуры и тектонической нарушенности месторождения; устойчивости и физических свойств горных пород и полезного ископаемого; элементов залегания, форм, размеров и внутреннего строения тел полезного ископаемого, его состава и текстурно-структурных особенностей; водоносности и газоносности месторождения; возможных размеров потерь и разубоживания и т. п.

Решение этих вопросов на действующих предприятиях облегчается по сравнению с периодом детальной разведки в связи с получением многочисленных новых данных, повышением степени достоверности известных и выявлением новых геологических закономерностей. Вместе с тем возрастают требования к достоверности прогнозов и сокращается время их проверки.

Можно выделить следующие виды прогнозирования:

- а) оперативное, или повседневное, прогнозирование в выработке или очистном забое с опережением забоев на смену, сутки или декаду;
- б) текущее прогнозирование в пределах очистного блока или эксплуатационного уступа на месяц, квартал или год;
- в) перспективное прогнозирование в пределах нескольких блоков или горизонтов на период от двух до пяти лет или более.

В основе геологического прогнозирования лежит изучение условий и истории формирования месторождений полезных ископаемых вообще и данного месторождения в частности. Первостепенное значение при этом имеют пространственные закономерности размещения тел полезного ископаемого, распределения его сортов, рудных столбов и других геологических объектов.

Оперативное прогнозирование базируется на знании закономерностей размещения рудных тел и столбов, признаков их выклинивания, наличия нарушений и направлений смещения по ним и т. д. Этот вид прогнозирования осуществляется в виде конкретных указаний по направлению очистных забоев непосредственно в местах добычи полезного ископаемого, без оформления каких-либо документов. Важное значение при этом имеет опыт работы геолога, его умение применить теоретические знания и использовать фактические данные по документации, опробованию, геологическому картированию, текущему прогнозированию и т. п.

Текущее и перспективное прогнозирование реализуется соответственно при составлении текущих и перспективных планов работы горного предприятия. В основе этих видов прогноза лежат теоретически возможные и

фактически установленные на данном месторождении геологические закономерности, обобщенные в виде различных графиков и таблиц. При обобщении данных применяются в основном статистические и геолого-геометрические методы.

При наличии закономерных связей между различными геолого-промышленными параметрами (мощностью и содержанием, объемной массой и содержанием, содержаниями двух или более компонентов) вычисляют коэффициенты корреляции и составляют уравнения регрессии, по которым определяют значения искомого параметра в любой точке месторождения, где известны значения другого параметра, коррелятивно связанного с искомым.

При отсутствии закономерных связей между геолого-промышленными параметрами вычисляют показатели их изменчивости и погрешности определения их средних значений. По этим данным судят о структуре изменчивости (характере распределения показателей изменчивости в различных геологических или эксплуатационных блоках) и о достоверности определения средних значений параметров в различных частях месторождения.

Из геолого-геометрических методов прогноза на действующих предприятиях применяются следующие:

а) метод геолого-технологических разрезов и планов, позволяющих прогнозировать пространственное размещение, запасы и качественную характеристику различных сортов полезного ископаемого не только в отрабатываемых блоках, но и за пределами отрабатываемых или разведанных блоков и горизонтов месторождения. Этим достоинством обладают все геолого-геометрические методы;

б) метод геометризации рудоконтролирующих факторов, позволяющий прогнозировать пространственное размещение и размеры тел полезного ископаемого;

в) метод изображения тел полезного ископаемого на планах и проекциях в изолиниях мощности, содержания, метропроцентов, зольности и т. п.;

г) метод изображения в изогипсах кровли или почвы тел полезного ископаемого, а также поверхностей тектонических нарушений, подземных вод и др.;

д) метод построения кривых изменения частных или средних значений геолого-промышленных параметров по простиранию, мощности и глубине месторождения.

Результаты обобщения данных с помощью статистических и геолого-геометрических методов прогноза используются при планировании добычных и разведочных работ, а также при оперативном руководстве очистной выемкой, выявлении зональности и т. п.

6. ОПЕРАТИВНЫЙ ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ

На действующих горных предприятиях цифры запасов полезного ископаемого постоянно изменяются как за счет добычи и неизбежных при этом потерь, так и за счет прироста или уменьшения запасов в результате эксплуатационной разведки, доразведки, а также проходки подготовительных, капитальных и очистных выработок. Рудничные и шахтные геологи обязаны учитывать изменения не только количества запасов, но и их качественной характеристики, степени разведанности и изученности. Эти изменения происходят в результате продвижения фронта очистных работ, эксплуатационной разведки и перевода запасов из низших категорий в высшие.

Приемы подготовки и обработки исходных данных и методы подсчета запасов те же, что и на стадии детальной разведки, чаще других применяются методы эксплуатационных или геологических блоков. Результаты подсчета оформляют в виде таблиц, отражающих баланс движения запасов.

Баланс движения запасов составляется ежегодно по месторождениям (рудникам и шахтам), промышленным или административным районам, областям, республикам и по стране в целом. Анализ и обобщение ежегодных балансов осуществляются территориальными и Всесоюзными геологическими фондами. Результаты этих обобщений используются планирующими организациями для рационального размещения новых промышленных объектов и направления дальнейших поисковых и разведочных работ.

Форма учета движения запасов единая для всех месторождений. В ней приводятся запасы на 1 января истекшего года и на 1 января нового оперативного года с подразделением изменений в запасах происходящих за счет:

- добычи и потерь;
- эксплуатационной разведки или доразведки;
- пересчета запасов;
- уточнения промышленных контуров в процессе эксплуатации.

Учитывается изменение как балансовых, так и забалансовых запасов по всем категориям и дифференцированно по блокам, участкам, сортам, полезным компонентам.

В процессе отработки месторождения запасы постепенно списываются, т. е. снимаются с баланса. Списанию подлежат запасы:

- а) добытые предприятием;
- б) потерянные в недрах при эксплуатации;
- в) некондиционные по качеству или мощности;
- г) неподтвердившиеся при эксплуатации.

Если балансовые запасы уменьшаются за счет потерь в недрах более чем на 10%, то они могут быть списаны только на основании специального разрешения Госгортехнадзора и отраслевого министерства.

На горных предприятиях ведется также ежегодный учет изменения количества полезного ископаемого в отвалах, в том числе и забалансового по качественным показателям. Совершенствование технологии переработки, может позволить перевести такое полезное ископаемое в балансовое.

Кроме общегосударственного учета движения запасов каждое ведомство или министерство, ведущее добычу полезных ископаемых, составляет более детальный баланс обеспеченности предприятий разведанными, вскрытыми и готовыми к выемке запасами.