



В. М. Крейтер

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
(дополненное)

ДОПУЩЕНО

Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов высших учебных заведений СССР, обучающихся по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»



Издательство «Недра»
Москва 1969

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Крейтер В. М. Изд-во «Недра», 1989 г. Стр. 386.

Учебник состоит из трех частей. В первой части описаны промышленные типы месторождений, поисковые критерии и признаки, методы проведения поисковых и поисково-разведочных работ. Во второй части приводится методика разведки месторождений и добычи различных видов минерального сырья. В третьей части рассмотрены методика подсчета запасов, вопросы оценки месторождений и задачи геологической службы на горных предприятиях.

Таблиц — 31, иллюстраций 117, библиография — 11 названий.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Подготовка данного учебника к переизданию была начата еще при жизни В. М. Крейтера и большая часть исправлений и дополнений внесена им самим.

В целом второе издание учебника сохраняет свой первоначальный объем и содержание, изменения претерпела главным образом глава «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых».

Работа подготовлена к печати Д. С. Крейтер, которая выражает свою признательность Н. Н. Трофимову за подбор некоторых новых материалов, а также В. В. Аристову и А. Б. Калдану, взявших на себя труд по ее рецензированию.

Д. С. КРЕЙТЕР

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Данный учебник написан на основе учебных пособий, которые дважды под тем же названием были опубликованы автором (1940 и 1960—1961 гг.), и опыта преподавания этой дисциплины в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе и Московском институте цветных металлов и золота им. М. И. Калинина. Кроме того, при составлении учебника использованы многочисленные работы советских и зарубежных геологов, изданных в последние годы, включая материалы Конференции ООН по вопросу о применении научных и технических знания для удовлетворения потребностей менее развитых районов.

Убедительным поводом для создания этого учебника явилась необходимость обеспечить кратким руководством студентов Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы и вообще всех студентов-геологов из слаборазвитых стран, обучающихся в вузах СССР. Данная книга соответствует программам советских вузов, однако автор стремился в ссылках и примерах шире охватить месторождения зарубежных стран и особенно Африки, Азии и Латинской Америки.

В подборе материала и графики и при общем редактировании работы большую помощь оказал И. З. Самойлов, за все это приношу ему искреннюю благодарность. В работе учтены ценные замечания В. П. Козеренко и А. В. Пака, а также коллег по Университету дружбы народов им. Патриса Лумумбы — Г. Д. Анжирсы, А. М. Даминовой и Н. Н. Трофимова, за что выражаю им всем глубокую признательность.

Профессор В. М. КРГЙТЪР

Университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы.

Кафедра месторождений
полезных ископаемых и их разведки

ВВЕДЕНИЕ

Учение о поисках и разведке есть прикладная геологическая наука, изучающая условия нахождения и пути наиболее эффективного выявления промышленных месторождений полезных ископаемых. Эта наука отделилась от горного искусства, как последнее вместе с геологией отделилось от металлургии в период промышленной революции, т. е. в эпоху появления в производстве паровой машины.

Учение о поисках и разведке как самостоятельная наука геологического цикла впервые оформилось в СССР в начале 30-х годов, когда из него выделилась техника разведки (разведочное бурение и проходка горноразведочных выработок).

Данная наука имеет свой предмет (объект исследования) и метод (способ познания). Предметом являются промышленные типы месторождений, что неравнозначно по сути геологические типы, методом же служит «оценка» — оценивается прежде всего геолого-минералогическая обстановка и потенциально-рудноносная площадь, а также соотношение геологических, горнотехнических и экономических данных. Цель оценки — наиболее быстрое установление промышленного типа найденного месторождения а затем выбор наиболее целесообразных способов его изучения и разведки с ориентировочным определением качества и количества запасов руды в недрах. В дальнейшем производится полная экономическая оценка месторождения.

Необходимо отличать рудопроявления от месторождений; количество месторождений в земной коре в 30—40 раз меньше, чем проявлений. *Месторождение* — это называется такое природное скопление минерального сырья, которое технически возможно, а экономически целесообразно разрабатывать на данном уровне развития производительных сил.

Наука о поисках и разведке посвящена вопросам выявления именно промышленных месторождений, которые только и представляют интерес для общественного производства. Тем не менее практически приходится различать промышленные и непромышленные месторождения. Оценочные показатели непромышленных месторождений иногда могут иметь очень небольшие отличия

от показателей промышленных месторождений. Именнее даже одного из этих показателей (улучшение экономических условий района, разработка более эффективной технологии переработки минерального сырья и др.) может обусловить перевод непрямоугольного месторождения в число промышленных.

Термины *рудное проявление* и *чем более рудная точка* означают явно не промышленное (обычно ничтожное) или еще неиспользованное и неразведанное скопление полезных минералов.

Учение о поисках и разведке включает шесть основных проблем, которые на практике нередко представляют собой отдельные дисциплины: 1) поиски, 2) разведка, 3) опробование, 4) подсчет запасов, 5) экономическая оценка и 6) геологическая служба на действующих горных предприятиях.

Полный цикл геологоразведочных работ охватывает все шесть проблем — от поисков до геологического обслуживания рудника. Разумеется, что для выполнения конкретных практических задач иногда достаточно проведения только разведки или только опробования и т. д.

Учение о поисках и разведке в главных чертах сходно с Mining geology (прикладная геология для горной промышленности), развившейся в США. Однако в социалистическом хозяйстве бывший упор делается на планомерное изучение всей территории с целью поисков и разведки месторождений всех типов, а в капиталистическом хозяйстве основное внимание обращается на горный отвод (долянку), принадлежащий частному лицу или компании, либо на поиски только отдельного вида полезного ископаемого.

Нужно подчеркнуть, что учение о поисках и разведке как бы сближает научно-технические интересы горных инженеров двух специальностей: геолога-разведчика и эксплуатационника.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПОИСКИ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. ПОНЯТИЕ О ПОИСКАХ И ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Под **поисками** понимается совокупность геологических операций, направленных на обнаружение промышленных месторождений полезных ископаемых. Естественно, что во время поисков встречаются (даже значительно чаще, чем промышленные) непромышленные минеральные скопления — рудопроявления в рудные точки.

Поисковые работы не прекращаются после обнаружения скопления полезных минералов — практически очень часто сразу же за **поисками** следует разведка обнаруженного месторождения.

Дальнейшее повышение эффективности поисков связано с улучшением качества геологических работ, **снизжением их себестоимости** и повышением производительности труда.

Научным геолого-минералогические основы поисков терпяются из всех наук геолого-минералогического цикла, на которые опирается выделение поисковых критериев и признаков (см. ниже). Выявление и оценка последних составляют главное содержание поисков.

Поиски, базирующиеся на геологических картах масштабов 1 : 4 000 000 и 1 : 500 000, называются **рекогносцировочными**, или **обзорными**, на картах масштабов 1 : 200 000 и 1 : 100 000 — **предварительными**, наконец, масштаба 1 : 50 000 — **детальными**.

Общезвестно, что в мировой добыче каждого вида полезного ископаемого главную роль играет весьма небольшое число (иногда даже один-два) геолого-минералогических типов месторождений. Вся остальная огромная масса рудопроявлений всевозможных генетических типов практически не имеет промышленного значения. Это и обуславливает целесообразность специального выделения промышленных типов месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Нет необходимости запоминать огромное число разнообразных рудопроявлений по каждому полезному ископаемому, но промышленные типы месторождений все геологи-спецы и разведчики должны помнить.

Генетическая классификация месторождений, которая является предметом учения о месторождениях полезных ископаемых, охватывает и освещает (так же, как минералогия и горючая) огромное количество генетических типов минеральных проявлений, что позволяет проследить поведению большинства элементов и минералов

в круговороте природных процессов, происходивших в земной коре.

В качестве примера рассмотрим генетические и промышленные типы месторождений железа. Этот широко распространенный в природе элемент, вларк которого 4 2%, образует скопления при всех процессах рудообразования, начиная с момента магматической дифференциации. Последний процесс дает агрегативные и рассеянные скопления железных минералов. В позднемагматическую стадию железные минералы очень часто ассоциируют с титановыми. Ликвационные месторождения как раннемагматические (рассеянная минерализация), так и позднемагматические (по Бэтману) также широко известны, но только железо в них проявляется в виде пирротина и значительно реже магнетита.

Весь контактово-метасоматический процесс связан с накоплением железорудных минералов, главным образом магнетита и только частично гематита, пирротина и пирита. В высокотемпературных гидротермальных месторождениях различных видов полезных ископаемых железо концентрируется в том или ином количестве в виде окислов и сульфидов. Среднетемпературные гидротермальные месторождения характерны широким присутствием железных карбонатов или сульфидов. Низкотемпературные гидротермальные месторождения наряду с пиритом и марказитом нередко содержат железомарганцевые карбонаты, т. е. и в этих месторождениях происходит концентрация железа. В телотермальных месторождениях, которые известны только как месторождения полиметаллов и меди, весьма существенное значение имеют марказит и пирит, а также халькопирит и борнит. Большое количество железа характерны и для осадочно-вулканических месторождений, проявляющихся в геосинклиналях вдали от береговой линии.

Некоторые железорудные месторождения (например, Гумма и Кутван в Японии) обязаны своим происхождением действию термальных вулканических источников. Кроме того, среди докембрийских и палеозойских диффузивов известно большое количество медно-колчеданных и просто колчеданных месторождений (например, типа колчеданов Балаша и Урала), которые нельзя не рассматривать иначе как места скопления железа.

Экзогенные скопления минералов железа также имеют весьма широкое развитие в связи со всеми видами осадков. Так, во всех типах россыпей концентрируется большое количество минералов этого элемента, главным образом магнетит. Осадочные образования железа известны в морских бассейнах всех типов: на шельфе морей и океанов, в заливах и лиманах, озерах и болотах. Болотные руды, например, добывались во многих северных странах. Большие скопления железа образовались в торфяниках, даже сейчас в Англии широко разрабатываются сферосидериты в пластах углей.

При выветривании различных пород, особенно ультраосновных, образуются различные по характеру и размерам скопления минералов

лов железа. Эти скопления либо залегают на ультраосновных или метаморфических породах в виде плащеобразных залежек, либо перемещены в близлежащие озера или помпониовые участки поверхности (осадочные месторождения). Известно большое число скопленений железа типа железных шпал. Растворенное железо иногда выщелачивается по разнообразным трещинам и дает в тех или иных благоприятных условиях многочисленные инфильтрационные месторождения.

Среди метаморфических образований в районах, где почти полностью отсутствуют интрузии, известны огромные по размерам протерозойские месторождения, связанные с железистыми кварцитами и джеспидитами. В условиях этой же зоны метаморфизма и этой же протерозойской складчатости на шпалах, в участках распространения кислых интрузий, привлекательны месторождения особой апатито-магнетитовой формации. Наконец, в зонах глубокометаморфизованных пород и абиссальных кислых интрузий часто проявляются гематито-магнетитовые скопления нередко связанные с магнетитовыми скарнами и сопровождаемые флюогристовой и борной минерализацией.

На этом примере кратко прослежено поведение железа как элемента в круговороте природы, и попутно перечислены генетические типы железорудных скопленений, которых насчитывается около тридцати. Однако промышленных типов железорудных месторождений целесообразно выделить только пять (см. табл. 2). Такая же примерно картина наблюдается для месторождений и других полезных ископаемых как металлических, так и неметаллических.

На основании детального рассмотрения известных в мире многочисленных проявлений минерального сырья представляется целесообразным условно считать промышленным типом месторождений, который дает не менее 1% мировой добычи того или иного полезного ископаемого.

При анализе вопроса о промышленных типах месторождений нужно учитывать, что почти каждый из типов в некоторых конкретных условиях может иметь непромышленных (по качеству или количеству) представителей, а некоторые месторождения, относящиеся к непромышленным типам, наоборот, могут оказаться промышленными. Отдельным государствам, особенно крупным, целесообразно выделять «свои» промышленные типы месторождений, которые следует разведывать, так как в местных условиях они могут быть экономически выгодны для разработки, несмотря на то, что не входят в число планетарных промышленных типов и имеют небольшое значение в мировой экономике.

По нашему мнению, группировка промышленных типов месторождений должна базироваться на представлениях о месторождениях как о геологических телах (например, пласт железных руд, жила карбонатов с сульфидами меди, солончакная залежь пещенитовосных скарнов и т. п.), характеризующихся определенной формой,

размерами, вещественным составом* и находящимся в определенных геологических условиях. При таком подходе эта группировка как бы становится генетической в широком геологическом смысле слова. Несмотря на ее генетическую сущность, промышленные типы мест-

Таблица 1

Запасы и добыча основных полезных ископаемых в капиталистических странах (данные за 1965 г.)

Полезные ископаемые	Единица измерения	Запасы		Добыча
		общие	в том числе дообработанные и зрелые	
Уголь (1965 г.)	млрд т	2 683 000	597 000	1288
Нефть	» »	214 000	42 300	1200
Природный газ	млрд. м ³	370 000	22 700	094
Железная руда	млрд. т	212 000	52 800	395,3
Марганцевая руда	» »	933	388	8,6
Хромиты	» »	1 080	Нет сведений	2,987
Никель	тыс. т	30 200	12 100	320
Кобальт	» »	2 400	790	16,4
Вольфрам WO ₃	» »	618	415	14,25
Молибден	» »	2 800	2 100	44,9
Итанг	млн т	10 000	634	1,0
Бокситы	» »	9 437	2 130	29,2
Медь	тыс. т	240 000	153 000	4100
Свинец	» »	68 000	40 000	1933
Цинк	» »	125 000	64 000	3270
Олово	» »	5 800	2 880	155
Ртуть	» »	593	108,1	6,7
Сурьма	» »	1 500	Нет сведений	36,7
Уран U ₃ O ₈	» »	9 000	587	18,4
Фосфориты	млрд. т	44 500	12 900	47,8
Сера	» »	888,2	294,1	8,28
Парит	» »	994	675,7	13,8
Калийные соли (K ₂ O)	» »	28 140	10 800	9,3
Плавленые шпательные руды (с содержанием CaF ₂ более 35%)	тыс. т	87 900	37 500	2,1
Асбест	» »	93 500	55 800	1920
Графит	млн т	150	13,5 (1961 г.)	0,625
Слюда	тыс. т	Нет сведений	Нет сведений	157,4
Алмазы	млн карат	1 000	То же	32,4
Золото	т »	85 000	17 000—20 000	1268,9
Серебро	» »	Нет сведений	Нет сведений	6040
Платина	» »	777	То же	39,2
Нйобий (Nb ₂ O ₅)	тыс. т	9 692	» »	6,1
Тантал (Ta ₂ O ₅)	» »	69	» »	0,248

* Под «вещественным составом» или «качеством» здесь и далее понимается рудная формация по С. С. Смирнову, которая определяется типичным парагенезисом и ассоциацией минералов, с обязательным учетом геологической обстановки, влияющей на текстурно-структурные особенности руд и общий их облик. Для экзотических месторождений понятие формации принимается по П. С. Шагскому.

рождений выделяются на основе опыта разведки и эксплуатации месторождений.

Выделяемое в настоящее время количество промышленных типов месторождений нельзя, конечно, считать неизменным, со временем оно может как уменьшаться, так и увеличиваться. Например, промышленный тип медных месторождений, представленный платовыми телами молибденовых песчаников среди осадочных толщ, установлен практически в 1926 г. (в Северной Родезии и Катеанге), а выявление промышленных типов титановых месторождений началось только в последние два десятилетия в связи с повышением спроса на титан. В последние годы вырисовываются промышленные типы редкометалльных месторождений (Be, Li, Ta, Nb, Zr и т. д.), месторождений бора, а промышленные типы ураловых месторождений в недавнее время изменялись практически почти ежегодно.

При выделении промышленных типов месторождений главными факторами в современных условиях являются их качество и размеры, хотя форма тел полезного ископаемого наряду с условиями их залегания оказывает решающее влияние на выбор системы разработки и способа вскрытия месторождения. Форма же в основном определяет систему разведки и, следовательно, основные ее способы и средства, а также характер и в значительной мере параметры разведочной сети.

Промышленные типы для каждого полезного ископаемого рассматриваются ниже в порядке той роли, которую играет каждый из этих типов в мировой добыче. При разборе промышленных типов месторождений всех главнейших видов полезных ископаемых кратко освещены технологические сорта руд, так как без этих данных трудно понимать некоторые вопросы разведки, особенно детальной и эксплуатационной.

В приводимых ниже таблицах все ориентировочные цифры, отражающие долю отдельных промышленных типов в мировой добыче и мировых запасах различных видов полезных ископаемых (кроме железца), приведены только по капиталистическим странам.

Сводные данные о запасах и добыче основных полезных ископаемых в капиталистических странах приведены в табл. 1.

2. ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛЫ ИХ СПЛАВОВ

Железо. Железо (0,04—0,2% С), чугун (2,5—4,5% С), сталь (0,2—1,5% С), специальные сорта стали с добавками Mn, Cr, Ni, Mo, V, W и ферросплавы используются во всех отраслях промышленности и в сельском хозяйстве.

Главнейшие минералы железных руд: магнетит, гематит, лимонит, иттил, сидерит и лептоксиды.

Требования промышленности к различным видам железных руд настолько разнообразны, что составляют особый раздел знаний. Кроме процентного содержания железца, для оценки железной руды необходимо знать содержание всех вредных и полезных компонентов,

общий химический и минеральный состав, физические свойства. Различаются требования к рудам, предназначенным для доменной и мартеновской плавки, для выплавки чугуна в электрических печах и для прямого восстановления.

На современном уровне развития черной металлургии употребление в плавку сырых (рядовых) руд сведено до минимума. Черная металлургия применяет дробленую, сортированную, обожженную руду, агломерат и брикеты из мелочи богатых руд. Используются кусковые концентраты, брикеты и агломерат из мелких фракций концентрата, которые смешиваются с отходами металлургического производства.

В порядке от легко- к трудновосстановимым в доме рудам располагаются: обожженные сидериты, бурые железняки и агломераты разных руд; необожженные сидериты и бурые железняки; мармиты и гематиты, магнитные железняки плотные и, наконец, титанистые магнитные железняки.

Минимальные, установленные практикой, пределы среднего содержания железа в рудной составляющей доменной шихты (при кислотном характере перудных примесей) равны (%): для сидеритов 30—35, для бурых железняков 45—50, для гематитов и мармитов 54—58, для магнетитов 56—60. Браковочные пределы обычно на 10—20% ниже указанных. Для самоплавких руд, при наличии легирующих (Cr, Ni) или ценных (V) примесей, требования к содержанию железа снижаются в отдельных случаях до 25—30%.

Содержание марганца в рудах допускается в зависимости от значительного и допустимого его содержания в различных сортах чугуна и колеблется в шихтовых рудах от 0,2 до 1,5%. В природно-легированных хромо-никелевых рудах приемлемым считается соотношение $Cr : Ni = 1,5 : 1$. Полезными могут быть примеси меди, никеля, кобальта, молибдена, которые полностью переходят в чугун, и впадая, переходящего в чугун на 70—85%. Для специальных сортов стали вводятся соответствующие ограничения или добавки.

Количество вредных примесей в руде строго регламентируется. Предельное содержание серы в шихте колеблется от 0,03 до 1%, фосфора от 0,007 до 1,8%, максимальное содержание мышьяка разное 0,07%, олова 0,08%, цинка 0,2%, свинца 0,1%, хрома 1%. Содержание и соотношение шлакообразующих окислов — SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO и др. — является основой расчета шихты, но для руд не ограничивается.

Строго регламентируются размеры кусков руды (от 5 до 150 мм), доля мелочи (10—30%), сопротивление раздавливанию (> 120 кг/см²), влажность (5—33%). Важное значение имеют текстура и структура руд (особенно при обогащении), их крепость, объемный вес, влажность.

Промышленные типы железорудных месторождений отражены в табл. 2.

В соответствии с масштабами потребления железных руд месторождения с запасами в миллионы тонн нужно считать небольшими,

Промышленные типы месторождений железа

Краткая характеристика типов	Содержание Fe в %	% от мировой добычи	Мировые запасы руды в млрд. т	Примеры месторождений
<p>1. Крупные районы выдержанных пластовых и пластообразных залежей гематито-магнетитовых руд обычно среди железистых кварцитов в метаморфических толщах докембрия</p>	50—60	53	Промышленные руды 40, вместе с железистыми кварцитами (содержание Fe 20—40%)—3000	Кривой Рог (СССР), район Верхнего озера (США), месторождения Бразилии, Индии, Венесуэлы, Боливии, Конго (Леопольдвилль), Южной Родезии
<p>2. Бассейны и районы пластовых гематито-сидерито-шамозитовых руд долитового характера, приуроченных к осадочным фациям прибрежно-морского типа, и также к эффузивно-осадочным</p>	23—40	32	70	Минетта Лотарингия, Керченское (СССР), Ландиль (ФРГ), месторождения Нигерии, ОАР, Кувейт, Малайя
<p>3. Крупные и средние пластообразные и жиллообразные залежи магнетито-гематитовых руд обычно со скарнами, часто залегающие в контактах изверженных пород и известняков</p>	30—40 (при обогащении 45—62)	40	12	Гора Магнитная, Дзальесан (СССР), Корпуол (Пенсильвания, США), Гао (Китай), многочисленные месторождения Латинской Америки и Африки
<p>4. Крупные и средние пластообразные и жиллообразные месторождения сидеритовых руд среди карбонатных пород</p>	30—40 (после обогащения 50)	4	6	Месторождения Алжера, Марокко, Гайкальское (СССР), Вальбао (Испания)
<p>5. Огромные тела осевых и ультраосевых пород с интенсивной вкрапленностью титаноносных магнетитов</p>	30—60	1	30	Качканар (СССР), месторождения Капады, США, Татзани

Примечание. Большие запасы железорудных месторождений коры выветривания на Кубе, Филиппинских островах и в других местах для добычи железных руд пока не используются.

и десятки миллионов — средними, и сотни миллионов — крупными и, наконец, уникальными — месторождения, обладающие запасами миллиарды тонн.

Титан широко используется в самолетостроении, в специальных сплавах, для покрытий, в электродах и т. д. Уже долгое время титан применяется для приготовления белил, в производстве лилолеума, искусственного шелка, цветного стекла, глазури, для окраски кож и тканей. Главными промышленными минералами титана являются рутил и ильменит.

Титан во многих месторождениях тесно ассоциирует с гематитом и магнетитом, от которых титановые минералы иногда трудно отделяются. Поэтому для промышленной характеристики титановых руд важен показатель выхода ильменита в концентрат относительно общего его количества в руде. Разведочными работами последних лет за рубежом выявлены очень крупные месторождения с запасами до 150 млн. т двуокиси титана.

По качеству месторождения титана можно разделить на три категории (табл. 3).

Таблица 3

Содержание титановых минералов в рудах и россыпях

Категория руд и россыпей	Ильменит в коренных месторождениях в %	Рутил в коренных месторождениях в %	Ильменит в россыпных месторождениях в кг/м ³
Богатые	40—70	5	50—100
Средние	20—30	3—5	20—50
Бедные	10—20	1,5—3	10—20

Основные промышленные типы месторождений титана.

1. Крупные линзо- и дайкообразные тела сплошных и вмещенных ильменито-магнетитовых руд в апортозитах или на их контактах Лак-Тью (Канада), Санфорд Лейк (США) Сторганген (Норвегия).

2. Россыпи современные и погребенные ильменита (прибрежно-морские, делювиально-аллювиальные) и рутила. По масштабам добычи месторождения этого типа занимают первое место среди титановых месторождений. Месторождение Траванкорское (Индия), россыпи Целлона, Сеспгала, Сьерра-Леоне, месторождение Самоткапское (СССР).

3. Цацлообразные тела и зоны вмещенных ильменитовых и рутиловых руд в разнообразных метаморфических породах (амфиболитах, роговообманковых, хлоритовых и других сланцах, песчаниках и кварцитах). Месторождения Сьеррой Каролины (США) и др.

Наряду с перечисленными промышленными типами месторождений нужно учитывать нецеликовые и линзообразные тела вмещенных, преимущественно перовскито-килито-магнетитовых руд в ультраосновных щелочных породах.

Марганец. Марганцовые руды применяются в металлургической (95%) и химической промышленности, для изготовления сухих батарей, в керамическом и стекловом производстве.

Важнейшими минералами марганца являются: пиролюзит, браунит, гаусманит, манганит, псиломелан, родохрозит. Наиболее вредной примесью в рудах является фосфор.

Исходя из требований металлургии выделяются четыре сорта марганцовых руд (табл. 4) и три сорта железо-марганцовых — для выплавки зеркального чугуна и силикошпителя (табл. 5).

Руды, применяемые в химической промышленности, должны отвечать следующим требованиям к составу: $MnO_2 > 80\%$; $Fe < 4\%$, $CaO < 2-3\%$, Co, Ni, As — следы, $Cu < 0,2\%$.

Таблица 4

Требования промышленности к марганцовым рудам

Сорт	Содержание Mn в %	Mn : Fe	Содержание в %	
			SiO ₂	P (не более)
I-A	>50	6-7	До 9	0,20
I-B	40-50	7-10	9-15	0,17
II	35-40	3-4	15-25	0,18
III	30-35	4-5	25-35	0,15

Таблица 5

Требования промышленности к железо-марганцовым рудам

Сорт	Содержание Mn + Fe в %	Mn : Fe	Содержание в %	
			SiO ₂	P
I	50-60	1,5-0,6	До 15	0,09-0,18
II	40-50	2,0-0,8	15-25	0,08-0,50
III	30-40	2,5-1,0	25-35	0,07-0,12

Основную роль в мировой добыче играют два промышленные типа марганцовых месторождений.

1. Бассейны или районы окислых, реже карбонатных пласточных месторождений обычно окисловых руд среди осадочных пород. Некоторое разнообразие состава этих месторождений зависит от условий накопления марганецсодержащих осадков и обогачения от степени их последующего метаморфизма.

Содержание марганца в рудах колеблется от 15 до 40%, а продуктами приемами обогащения получают концентраты с содержанием металла 35-55%. Малая фосфористость таких руд определяет их высокое качество.

Важнейшие месторождения этого типа (и близкие к нему) имеются в СССР (Чистурты, Никополь), а также в Габоне (Моянда), Марокко, на Кубе и др.

2. Крупные пластообразные (плащеобразные) тела окисных руд («марганцевые шпильи»), залегающие на докембрийских породах (гнейсах и конгуритах), с повышенным содержанием марганца.

Содержание марганца в рудах таких месторождений, дающих около 70% мировой добычи марганца, колеблется в широких пределах. Получаемые в результате обогащения концентраты содержат 40—50% металла. Содержание фосфора обычно значительно выше, чем в рудах первого промышленного типа.

Месторождения этого типа имеются в Индии (Мадхья — Прадеш, Орисса, Мадрас), в Африке (ЮАР, Берег Слоновой Кости, Гапа, Мали), в Бразилии.

Кроме указанных двух типов, известно много (даже в отдельных случаях эксплуатировавшихся) мелких месторождений марганцевых руд различного происхождения: озеро-болотных, пифилитрационных в карбонатных породах, жильных и гнездообразных гидротермальных (родохрозитовых), а также связанных с эффузивными породами, сопровождающимися яшмами.

Хром. Основное применение хром находит в металлургической и химической промышленности. Он используется в разнообразных сплавах, главным образом с железом, никелем и кобальтом, а также для изготовления окислительных огнеупорных материалов.

Единственной хромовой рудой является хромистый железник, или хромит, — название, под которым подразумевается несколько минералов группы шпинели. Важнейшие из них: хромит, магнхромит, хромникотит, алюмохромит. В рудах учитывается содержание Cr_2O_3 (%), отношение $Cr_2O_3 : Fe$, содержание SiO_2 и CaO (%).

В зависимости от состава хромитовые руды подразделяются на 15 сортов. Сорта 1—10 (маложелезистые) идут на ферросплав, сорта 11—13 (среднежелезистые) — в химическую промышленность и сорта 14—15 (железистые) — в огнеупорное производство. Вредными примесями считаются сера, фосфор и углерод, которые в большинстве случаев отсутствуют в этих рудах.

Промышленным считается только один тип хромитовых месторождений — пластообразные, липцообразные и жиллообразные тела вкрапленных и сплошных хромитовых руд в ультраосновных породах (перидотитах и дунитах). Иногда за счет этих месторождений образуются значительные россыпи, как, например, в ЮАР и Южной Родезии.

Содержание металла в рудах колеблется в широких пределах. Обычно используются руды с содержанием Cr_2O_3 от 32 до 60%. В качестве примеров можно назвать Донские месторождения (СССР) и также стратифицированные пласты хромшпинелидов в ЮАР (Бупвелдский комплекс) и Южной Родезии (Грейт Дайк). Южная Родезия по добыче хромитовых руд занимает первое место среди капиталистических стран.

Никель. Применяется в разнообразных специальных сталях и чугунах, а также в сплавах с медью, хромом, алюминием, свинцом, кобальтом, марганцем, серебром, золотом.

К главнейшим промышленным минералам никеля относятся: пентландит, миллерит, никелин, гарниерит, реддивскит.

При оценке никелевых руд нужно знать не только общее содержание, но и характер распределения никеля, так как часть его входит в силикаты и не извлекается. Кроме того, необходимы сведения об общем химическом составе руд и содержаниях в них спутников (Cu, Co, Pt, Pd, Rh, Au, Ag, Pb, Zn, Se, As, Bi, Fe, Cr), многие из которых могут иметь промышленное значение.

Особенно важно знать содержание окислов в силикатных никелевых рудах, для которых соотношение SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 и Cr_2O_3 регламентируется в зависимости от назначения руд. Вредными примесями в составе никелевых руд являются Pb, Zn, Bi, As, создающие трудности при металлургическом переделе.

В сплошных рудах без предварительного обжига количество никеля должно быть не менее 1,5%, во вкрапленных сульфидных — не менее 0,26%; для силикатных руд минимальным содержанием никеля считается 1,3% при содержании меди не выше 0,005%.

Промышленные типы месторождений никеля приведены в табл. 6. Месторождения первого типа играют весьма существенную роль также в добыче платиноидов и меди и, кроме того, дают значительные количества золота, серебра, кобальта, селена и теллура.

Таблица 6

Промышленные типы месторождений никеля

Краткая характеристика типов	Содержание Ni в %	% от мировой добычи Ni	% от мировых запасов Ni	Примеры месторождений
1. Крупные и средние пластовые и жильные месторождения вкрапленных и сплошных пентландит-халькопирит-ферритовых руд и осевых и ультраосевых пород	1,3—4,6	80	70	Седберн (Канада), Поченги, Норильск (СССР)
2. Средние и мелкие пластовые, жильные и гнездовые залежи силикатных никелевых руд в коре выветривания ультраосевых пород и на контактах последних с известняками	1,3—4,0	20	30	Месторождения Новой Каледонии, Кубы, Бразилии, Индонезии, Батампингеса, Уфалонские (СССР)

Кобальт. Употребляется для производства специальных сплавов (твердых, жаропрочных, магнитных), изготовления высоко-

качественных красок и эмалей; в качестве катализаторов в химической и пищевой промышленности.

К используемым минералам кобальта относятся: линнеит, кобальтин, шмальтин и некоторые кобальтовые минералы зоны окисления. Извлекаемое содержание кобальта при комплексном использовании сульфидных руд составляет 0,06—0,08%.

Кобальт распространён в различных месторождениях. Основная масса его добывается на меднорудных месторождениях Конго, Леопольдвиль (чёрная окись зоны окисления — гетерогенит) и Северной Родезии (карролит). В Канаде кобальт получают из серебро-мышьяковых руд (месторождение Кобальт в Онтарио), в Бирме и Австралии — из свинцово-цинковых, в Марокко он добывается на золоторудных месторождениях Тарудант. Итак, кобальт добывается главным образом как побочный элемент. Встречаются однако и собственно кобальтовые жилы, например на месторождении Ханахсы (СССР).

Вольфрам. Основное применение вольфрама нашёл в производстве специальных сталей, твёрдых сплавов, в электропромышленности, текстильной промышленности, приборостроении, военной технике.

Используемые минералы вольфрама: вольфрамит, ферберит, гюбнерит, шеелит.

Согласно техническим условиям на вольфрамовые концентраты содержание WO_3 в них должно быть в пределах 40—65%, допустимые количества фосфора 0,03—0,2%, серы 0,3—3%, мышьяка 0,04—0,2%, олова 0,08—1,5%, меди 0,1—0,22%.

Таблица 7

Промышленные типы месторождений вольфрама

Критерий характеристика типов	Содержание WO_3 в %	% от мировой добычи WO_3	% от мировых запасов WO_3	Примеры месторождений
1. Пластообразные и жильнообразные залежи фосфоритовых <i>карпов</i> на контактах карбонатных пород и гранитоидов	0,3—0,0	55	60	Санг-Донг (Южная Корея), Ингаче (СССР), Крамат-Пулэй (Бирма), Йо-Ган-Сян (Китай), месторождения США, Мексики, Бразилии
2. Кварцево-вольфрамитовые жилы и жильные зоны, чаще в виде экзоконтактов гранитоидов	0,6—4,0	25	30	Маучи (Бирма), Гуймышац (Китай), Джинда (СССР)
3. Аллювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи вольфрамита и гюбнерита	Минимальное 0,03% в тонких пластах и 0,015% в мощных	20	10	Ноз-Канг (Цзиньси, Китай) Джинда (СССР)

Промышленные типы вольфрамовых месторождений приведены в табл. 7. Можно отметить, что в месторождениях второго жильного типа встречаются также шешлит или ферберит, имеющие явное подчиненное значение.

Молибден. Используется в специальных сталях, в электротехнической, автомобильной, авиационной, инструментальной отраслях промышленности, а также в химической (краски) и керамической (пигмент и катализатор).

Основным минералом молибденовых руд является молибденит. Предельными примесями в молибденовом концентрате считаются медь, фосфор, мышьяк. Техническими условиями на молибденовый концентрат предусмотрено: при содержании молибдена 47—50% количество меди должно быть не более 0,5—2%, фосфора 0,07—0,15%, мышьяка 0,07%. олова 0,07%. кварца 5—9%.

Промышленные типы молибденовых месторождений приведены в табл. 8.

Таблица 8

Промышленные типы молибденовых месторождений

Краткая характеристика типов	Содержание Мо в %	% от мировой добычи Мо	% от мировых запасов Мо	Примеры месторождений
1. Крупные штоковые кварцево-молибденитовых и кварцево-молибденито-халькопиритовых руд преимущественно в малых интрузивах	0,1—0,4; при попутной добыче 0,005—0,01	90	84	Клаймакс (США), Джида, Коунрад (СССР), Дахшань (Грция, Китай)
2. Средние по размерам пластообразные и жилкообразные месторождения в скалах на контактах гранитоидов с интрузивами	0,1—1,0	8	16	Тырны-Ауз (СССР), Азелур (Мирно), Яндзичацзи, (Люнинг, Китай)
3. Небольшие кварцево-молибденитовые жилы, иногда с вольфрамитом, в различных породах	1—1,5	27	2	СССР, США, Норвегия

Ванадий. Применяется в металлургии качественных сталей (90%), а также в электрохимической, химической, керамической, красочной промышленности и в медицине.

Промышленными минералами ванадия являются патроцит, рокошлит, ванадинит, деклуазит, карнонит. Ванадий имеет тенденцию изоморфно заменять в ряде минералов другие элементы, поэтому самостоятельные его скопления редки, несмотря на высокий кларк этого металла.

Известно гольки одно крупное месторождение собственно ванадиевых руд — Минагри ра в Перу. Это жилородное тело мощностью 3 м и протяженностью 100 м, залегающее в толще глинистых сланцев и известняков. Руда связана с асфальтигом и состоит из пикрогита и кальциевого ванадата, выполняющих трещины в сланце. Практически же ванадий добывается попутно из окисленных зон полиметаллических месторождений (например, Абонабское месторождение в Юго-Западной Африке), и в небольшом количестве из карнитовых Урано-ванадиевых руд и других источников (типаомагнетитов, железных руд).

3. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Медь. В чистом виде и в разнообразных сплавах медь применяется в электротехнике и машиностроении, на транспорте, в строительстве и химической промышленности.

Промышленными минералами являются: халькопирит, халькозин, ковеллин, самородная медь, борнит, спаргит и блокые руды. Небольшое количество меди извлекается из окисленных минералов: куприта, махаита и азурита.

Промышленное значение медных руд определяется процентным содержанием металла, так как в настоящее время медные минералы достаточно хорошо извлекаются из разнообразных (в том числе и окисленных) руд. Медные руды, за редким исключением, комплексные: кроме меди из них обычно получают золото, серебро, цинк и из отдельных руд — серу, мышьяк, молибден, кобальт, некоторые редкие и рассеянные элементы.

Исходя из особенностей переработки, следует выделять простые руды и сложные (комплексные), а также сульфидные и окисленные. Важно разделять руды на богатые и бедные, так как богатые (свыше 2,5% Cu) нередко прямо идут в плавку. Бедные и комплексные руды разделяются и обогащаются флотацией. В медных концентратах должно быть не менее 10% меди, при более низком содержании концентрат бракуется так же, как и при наличии в концентрате свыше 5% цинка.

Промышленные типы медных месторождений приведены в табл. 9.

Свинец и цинк. Свинец применяется для аккумуляторных батарей оболочки кабеля, в различных сплавах, в производстве свинцовых белил, свинцовой фольги, типографского металла, подшипников, в строительстве, в качестве защитного материала на предприятиях, связанных с производством и использованием атомной энергии. Цинк потребляется в атомной промышленности, а также для покрытий, в производстве чугуна и других сплавов.

Промышленными минералами свинца служат: галенит, булажорит, джемсонит, церуссит, англезит; из булажорита и джемсонита извлекается также сурьма. Практически почти весь свинец получают из галенита и церуссита. В свинцовых месторождениях встречаются и важнейшие минералы серебра.

Промышленные типы месторождений меди

Краткая характеристика типов	Содержание Cu в %	% от мирового производства	% от мировых запасов в США	Примеры месторождений
1 Районы выдержанных пластовых месторождений вкрапленного и прожилкового медносульфидного оруднения в песчаниках, сланцах и конгломератах	3—5 (Северная Родесия)	25	43	Месторождения Северных Родесии и Катанги, Джемазал (СССР), Макфелд (ГДР), Уайт Найн (Мичиган, США)
2. Крупные минерализованные массивы вкрапленного и прожилкового оруднения преимущественно и интрузивных порфирах (меднопорфиновый тип)	0,9—2,2; минимальное 0,5 (США)	42	40	Билхэм (Юта, США), Коунрад (СССР), Чуташань (Шанси, Китай), Кананса (Мексика), Эль Тенiente (Чили)
3 Средние и мелкие линзовидные тела металлических колчеданов среди эффузивных пород	1,5—5,0; минимальное 0,7 (Испания)	19	11	Рпо-Тинго (Испания), Уральские колчедановые месторождения (СССР), месторождения Каналы и Ицончи
4. Крупные и средние пластообразные и жилкообразные месторождения вкрапленных и сплошных исландит-халькопирит-пирротитовых руд в основных и ультраосновных породах	0,8—1,9	5	3	Селберя (Канада), Норильск (СССР)
5. Крупные, средние и мелкие жилы и слоистые зоны сульфидных руд среди разлитых пород	1—10	5	2	Бьютт (Монтана США), Доуэмань (Южная Корея), Чатыркуль (СССР)
6. Обычно мелкие трубообразные и жилкообразные, иногда пластообразные залежи преимущественно халькопирита в свинцах обычно на контакте известняков и гранитоидов	2—8	1,5	1	Саянское (СССР), Бисби (Аризона, США), некоторые месторождения Китая

К промышленным минералам цинка относятся: сфалерит, вурцит, смитсонит.

Руды разделяются обычно на богатые и бедные сплошные и вкрапленные. Особенно важно разделить первичные, смешанные и окисленные руды вследствие значительных различий в технологии их обработки. Окисленные руды цинка при содержании металла ниже 25% не добываются из-за трудностей их технологической переработки, в то время как окисленные руды свинца большей частью легко обогащаются флотацией.

Большая часть свинцово-цинковых (полиметаллических) руд содержит, кроме свинца и цинка, некоторые, а иногда даже многие из следующих элементов: Ag, Au, Cu, Bi, As, Sn, Cd, In, Ga, Mo, Co, Tl.

Концентраты с содержанием свинца меньше 35% и цинка меньше 40% являются браком. Кроме того, для свинцовых концентратов считается вредным содержание меди 2—4%, цинка 8—12%, железа более 25%. Для цинкового концентрата предельное содержание меди 1—1,5%, железа 8—9%, кобальта — доли процента. Содержание

Таблица 10

Промышленные типы свинцово-цинковых месторождений

Краткая характеристика типов	Содержание металлов в %		% от мировой добычи		Примеры месторождений
	Pb	Zn	Pb	Zn	
1. Крупные и средние жильнообразные и трубообразные залежки и рудосодержащие зоны центральной формы свинцово-цинковых руд, обычно со скарнами, в марматитовых или на их контактах с изверженными породами	2,5—20	5—15	30	25	Тетлохо, Алтай-Топкап (СССР), Санта-Влалиа (Мексика), месторождения Перу
2. Крупные пластообразные и линзообразные согласные метаморфизованные залежки галенит-сфалеритовых руд в метаморфических породах	6—15	5—12	25	30	Сулзиван (Канада) Броден-Хилл (Австралия), Горевское (СССР), месторождение Северной Родезии
3. Мелкие и средние пластообразные и жильнообразные тела галенит-сфалеритовых, обычно вкрапленных руд простого состава в карбонатных породах	2—5	3—12	20	25	Пайн-Пойнт (Канада), месторождения долины Миссисипи (США), Миргалмсаи (СССР), месторождения Марокко и Алжира
4. Средние пластообразные и линзообразные залежки сплошных и вкрапленных колчеданных, реже кварцево-карбонатных свинцово-цинковых, обычно сложных руд в эффузивных комплексах	2—25	3—12	12	8	Алтайские месторождения (СССР), Боудвин (Виргия), Сятешань (Цинха, Китай), Вьючисе (Ньюфаундленд, Канада)
5. Мелкие и средние жильно и линзовидные зоны полиметаллических руд в различных преимущественно гранитоидных и метаморфических породах	5—20	12—25	7	12	Садон (СССР), Фрайберг (ГДР), Маолци (Хунань, Китай), миди-о-ва Сардиния (Италия), месторождения Цисерия

свинца в хвостах флотации должно быть не более 0,3%, цинка — не более 1—1,5%.

Выделение промышленных типов свинцово-цинковых месторождений (табл. 10) связано с большими трудностями из-за большого разнообразия и сложности вещественного состава руд и формы рудных тел.

Олово. Основная масса олова расходуется на производство белой жести и бронзы, изготовление баббита, припоя, фольги, типографского металла, на лужение и химические препараты.

Важнейшим минералом олова является касситерит, иногда используется станин. Промышленная ценность руд определяется процентным содержанием олова, размерами зерен касситерита и текстурой руд.

Концентраты, идущие в плавку, должны содержать не менее 40% олова, не более 0,5% свинца и не более 5% триоксида вольфрама. Содержание других компонентов не регламентируется, однако присутствие в концентратах больших количеств Zn, Sb, Bi, As нежелательно, так как они усложняют операции по доводке концентрата перед плавкой.

Промышленные типы месторождений олова приведены в табл. 11.

Таблица 11

Промышленные типы месторождений олова

Краткая характеристика типов	Среднее содержание в %	% от мирового запаса Sn	% от мирового запаса Sb	Примеры месторождений
1. Выдержанные россыпи касситерита, элювиальные, делювиальные, аллювиальные и шибргрибно-морские	0,5—0,8; минимальные и мощные пластах — 0,015, в маломощных — 0,03	70	60	Россыпные месторождения Малайи, Индонезии, Китая, Конго (Леопольдвиль) и Пигерии
2. Средние и мелкие жилы, жильные зоны и штоковые касситерит-цинковые руд или олопорудных срезов в гранитоидах и их контактах	В жилах 1—4; в штоковых — 0,3—1,0 (минимальное 0,13—0,2)	10	25	Месторождения Китая, Альтенберг (ГДР), месторождения Конго (Леопольдвиль), Индонезии
3. Средние и мелкие жилы, жильобразные зоны и штоковые сульфидно-касситеритовых руд в осадочных и вулканогенных породах	В жилах 1—5%	20	15	Месторождения Болливилл; Лифудовское (СССР)

Месторождения сульфидно-касситеритовой формации не только по форме, но особенно по вещественному составу весьма разнообразны. Среди них встречаются, алорио-оловянные, турмалиносульфидные, оловянно-цинково-цинковые, нередко скарновые.

Алюминий. Находит применение почти в каждой отрасли промышленности. Широко используется он в различных видах транспорта, в электропромышленности, металлургии, абразивной промышленности, в строительной конструкции, в огнеупорной и цементной промышленности, для изготовления бытовых предметов. Большая часть потребляемого алюминия (70%) применяется в виде разнообразных сплавов с медью, марганцем, никелем, цинком, магнием, кремнием.

Алюминиевая руда (боксит) состоит из гидратов глинозема, окислов железа и кремниевой кислоты. Количество глинозема в типичных бокситах колеблется от 50 до 65%, окиси железа — от 2 до 20%, кремниевые кислоты — от 2 до 10%. Кроме того, бокситы содержат от 1 до 3% окиси титана и от 10 до 30% конституционной воды.

Различают два вида рудных минералов, входящих в состав бокситов: 1) моногидрат, или бемит, и его диморфная разновидность — диаспор и 2) тригидрат, или гиббсит (гидратированный). Качество бокситов определяется в основном содержанием Al_2O_3 (в %), а также отношением $Al_2O_3 : SiO_2$, в зависимости от чего и устанавливается марка боксита и область его применения.

Требования промышленности к бокситам, идущим на производство алюминия, таковы: содержание $Al_2O_3 > 45\%$, $SiO_2 < 12-15\%$; $Al_2O_3 : SiO_2 \geq 3$. Вредными примесями в бокситах, затрудняющими производство алюминия, являются кремниевые кислоты и карбонаты.

Промышленные типы месторождений бокситов.

1. Крупные горизонтальные линзы, пластообразные и гнездообразные тела преимущественно тригидратных руд среди пестроцветных пород коры выветривания каолинового состава. Это платформенные образования, за рубежом к ним относятся месторождения Ямайки, Гапы, Бразилии, Гайаны и Суринама, Гвинеи, Индии, Индонезии, Кубы, а в СССР — Олонские.

2. Выдержанные пласты (или совокупность карчапообразных тел, принадлежащих к одному горизонту) дислоцированных моногидратных обычно оолитовых руд, залегающих на неровной поверхности рифтовых известняков и перекрытых слоистыми известняками. К этому геосинклинальному типу в СССР принадлежат месторождения Петропавловской полосы Урада, а за рубежом — месторождения Франции, Венгрии, Румынии.

3. Средние линзообразные и пластообразные дислоцированные тела моногидратных и тригидратных бокситов совместно с сероцветными отложениями преимущественно в эффузивных породах. Это месторождения «подвижных» платформ, к ним относятся, например, платформенные месторождения Китая.

В середине XX в. в качестве глиноземного сырья начали использовать нефелиновые сиениты и алунитовые породы. Однако пока

главным сырьем для *алюминиевой промышленности* по-прежнему остаются бокситы.

Магний. Нашел широкое применение в легких сплавах, особенно с алюминием (с примесью цинка и марганца), которые используются для самолетов и автомобилей, для изготовления различных инструментов и приборов, а также для производства латуни, бронзы и в пиротехнике.

Источником добычи магния служат хлориды магния из карналлитовых месторождений, магнезит, доломит, морские рассолы. Наиболее хорошо изучены карналлитовые руды.

Ввиду неограниченного количества сырья высокого качества и еще неустановившейся технологии производства этого металла твердых требований промышленности к этому сырью нет.

Ртуть. Применяется в детонирующих веществах, в приборостроении, для синтарных целей, в химии, в красильном, зеркальном и войлочном производстве, при амальгамации золота.

К минералам ртутных руд относятся: киноварь, метацинкбарит, самородная ртуть, шваццит; другие минералы ртути встречаются очень редко.

Условно можно выделить два промышленных типа ртутных месторождений.

1. Крупные пластобразные, линзовидные и жильобразные, обычно метасоматические сложной очертанности залежи киноварных руд среди осадочных пород. Среднее содержание ртути 0,3—1,0%, минимальное 0,15%, максимальное 5—8%. Запасы месторождений измеряются сотнями тысяч тонн металла, и на их долю приходится примерно 50% мировой добычи ртути. Представителями этого типа месторождений являются: в Испании — Альмаден, в Италии — Монте Амнат, в Югославии — Идрия, в Перу — Хуанкавелика.

2. Небольшие штокверки, мелкие гнезда, брекчиевые зоны и трещинные жилы киноварных вкрапленных и прожилковых руд среди различных пород. К этому типу относятся многочисленные месторождения Китая, южно-ферганские в СССР, Пью-Альмаден и Нью-Идрия в Калифорнии (США). Запасы этих месторождений обычно невелики. Минимальное содержание ртути 0,2%, хотя известен случай разработки руды с содержанием Hg 0,045% (Гровердейл, США). Запасы месторождений этого типа значительно меньше, чем первого, однако они также дают около 50% мировой добычи ртути.

Сурьма. Существенный составной элемент ряда сплавов, используемых для изготовления типографских прифтов, в производстве аккумуляторных пластин, подшипников. Сурьма находит применение в химической промышленности, в производстве красок, в керамике, протехнике (свечки), фотографии, медицине и в текстильной промышленности.

Важнейшими минералами сурьмяных руд являются: антимонит, блеклые руды и различные окислы сурьмы.

Для производства металлургической сурьмы важно, чтобы концентрат содержал не менее 30% сурьмы, причем не более 8% в окис-

сленной форме. Вредными примесями считаются мышьяк, медь, свинец, присутствие которых в концентратах допускается в следующих количествах: As < 0,25%, Cu < 0,03%, Pb < 0,08%.

Монометалльные руды с содержанием сурьмы ниже 1% практически не используются, однако в комплексных (полиметаллических) рудах и биче низкое содержание сурьмы может представлять практический интерес.

Можно выделить два промышленных типа сурьмяных месторождений.

1. Крупные массивообразные тела сплошных и искрапленных антимонитовых руд обычно среди известняков и известняков, часто в кучолах под станцовой кровлей. Минимальное содержание сурьмы в рудах 2—3%, среднее 5—7%, сортировкой иногда доводится до 55—60%. Запасы металла в месторождениях этого типа иногда исчисляются миллионами тонн. Особенно крупные его представители известны в Китае (Си Гуань Шап, Хуань). В СССР к этому типу относятся Кадамджай и другие месторождения Средней Азии.

2. Мелкие и средние кварцевые жилы с антимонитом в различных, преимущественно осадочных породах. Представителями этого типа являются месторождения Боливии, Мексики, Франции, США, Аляска, в СССР — Раздольное.

Висмут. Несмотря на небольшую потребность, применение висмута весьма разнообразно. Он используется в сплавах со свинцом, кадмием, оловом, сурьмой (легкоплавкие сплавы Вуда, Позе, Ньютона), для термоэлементов, в электрической аппаратуре и приборах, в медицине.

Важнейшие минералы висмута: висмутин, самородный висмут.

Висмут относится к металлам, в основном получаемым по-д у л н о при комплексной переработке медных, полиметаллических, кобальт-серебряных, оловянных и вольфрамовых руд. В одних случаях висмут получается при рафинировании шламов (свинца); в других — выделяется висмутовый концентрат путем ручной сортировки (Тасна, Боливия) или при обогащении вольфрамовых и оловянных руд. В Боливии используются хвосты, содержащие 0,05% висмута. Обычно же промышленный минимум содержания висмута в рудах составляет 0,3% при механическом способе обогащения и 2% при ручной рудоразборке.

В зависимости от типа руд и способа обогащения получают концентраты, весьма различные по содержанию висмута: из высоко-сортных руд с содержанием 40—60% Bi, из низкосортных — 10—30% Bi.

4. ДРАГОЦЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ

Золото. Важнейшими минералами золота являются: самородное золото, содержащие примеси Ag (до 50%), Fe (до 2%), Cu (до 1,5%), Bi, Pd, Rh, и теллуриды золота — калаверит, сальванит, петцит, нагавит.

Присутствие в рудах значительных количеств меди ($>0,1\%$) и цинка ($>0,05\%$) затрудняет извлечение золота, поэтому названные металлы считаются вредными примесями, так же как мышьяк, сурьма, углеродное вещество. Очень существенное значение имеют размеры частиц золота как в рудах, так и в россыпях, поскольку от размеров частиц зависит процент его извлечения.

Золото добывается как из собственно золоторудных месторождений (табл. 12), так и попутно из медных и полиметаллических (около 20% общей добычи).

Широко распространен в природе второй промышленный тип месторождений (см табл. 12), который имеет много разновидностей. В месторождениях этого типа в разнообразных сочетаниях и соотношениях присутствуют различные сульфиды и жильные минералы, а формы этих месторождений охватывают все виды и комбинации трещинных жил и штокерков.

Таблица 12

Промышленные типы месторождений золота

Краткая характеристика	Содержание Au	% от мировой добычи (по объему извлечения)	Примеры месторождений
1. Выдержанные пластовые тела золотосных конгломератов среди метаморфических толщ докембрия	6—10 г/т	40	Витватерсранд (ЮАР), месторождения Канады и Бразилии
2. Разнообразные по размерам золото-кварцевые жилы, жильные рاسبлавления зоны, штокерки в различных породах	6—25 г/т (в Аляске) Диконо жильное малое 1—2 г/т	25	Месторождения Урала и Сибири (СССР), Материнская жила (США), месторождения Копко (Леопольдвилл), Танганьика, Бразилия, Индия, Австралия
3. Мелкие жильные образные и слоистые по форме золото-серебряные месторождения иногда с теллуридами в молодых эффузивных породах	6—50 г/т	5	Месторождения Индонезии, Румынии, Мексики, США, Гондураса, Коста-Рики, Сальвадора, Кубы, Аргентины, Перу, Колумбии
4. Россыпи всех типов (аллювиально-делювиальные, элювиальные, прибрежные)	От 50 мг/м ³ до нескольких г/м ³	10	Месторождения Ломы, Колумбии (СССР), Аляски (США), Австралии

Серебро. Расходуется на производство сплавов, в приборостроении, химической промышленности, медицине, на бытовые изделия.

Главную роль играют: самородное серебро, аргентит, штромейерит, дискразит, стефанит, полибаазит, прустит, пираргирит.

Несмотря на большое количество серебряных минералов, они редко концентрируются в собственно серебряных месторождениях.

Обычно серебро присутствует в полиметаллических, медных и золотых рудах в рассеянном состоянии. Особенно много серебра связано с галенитом в свинцово-цинковых месторождениях, которые дают ежегодно 50% всего добываемого серебра, из медных руд получают 15%, из золотых — 10%. Все это определяет серебро как побочный металл. Только около 25% добычи приходится на собственно серебряные жильные месторождения, преимущественно благоприятных серебряных руд в различных породах. Месторождения этого типа особенно распространены в Мексике (Пачука, Гуанохато, Эль-Оро). Минимальное содержание серебра в промышленных серебряных рудах 0,01—0,05%, т. е. 400—500 г/т.

Группа платины. Сфера применения платины непрерывно расширяется, в настоящее время она используется в химической, электротехнической, авиационной и приборостроительной отраслях промышленности, в военной технике. Значительное количество платины расходуется в ювелирном и зубопротезном деле.

В группу платины входят: Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt. К минералам этой группы относятся: ферроплатина с примесями Ir, Rh, Pd, Cu, Ni, поликсен с теми же примесями, иридиская платина, палладистая платина, осмистый иридий, сперрилит.

Платиноиды встречаются преимущественно в рассеянном состоянии в различных месторождениях. Основная добыча (и запасы) приходится на риф Меренского в Южной Африке, а также на песчаные сульфидные вкрапленности гнистероброузитовые породы. Большие запасы платиноидов связаны с некоторыми сульфидными медно-никелевыми месторождениями.

Среди платиновых месторождений можно выделить три промышленных типа.

1. Крупные и средние пластообразные и жилкообразные месторождения вкрапленных и сплошных пентландит-халькопирит-пирротинных руд с платиноидами в основных и ультраосновных породах. Месторождения этого типа известны в Канаде (Содбери). Среднее содержание платины колеблется от 0,8 г/т до нескольких граммов на тонну.

2. Прослойки, трубы, мелкие тела разнообразной формы платиносым хромшпинелидов и горнополитов среди ультраосновных пород. Месторождения этого типа известны на Урале и в Бушвелде (ЮАР). В последнем районе среднее содержание платины в промышленных рудах колеблется от 5 до 15 г/т.

3. Россыпи, в основном аллювиальные. Кроме знаменитых россыпей Урала, известны россыпи в Чоко (Колумбия) и в районе залива Гудньюс (Аляска). Небольшое количество платины добывается полутно из золотых россыпей.

5. РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Уран, радий и торий являются важнейшими радиоактивными элементами. Практически основной промышленный интерес представляют месторождения урана.

Человечество вступило в атомный век и вполне естественно, что спрос на уран непрерывно увеличивается, а требования к качеству урановых руд снижаются. Вероятно, в ближайшее время будут использоваться руды, содержащие сотые доли процента урана.

Уран. В недавнем прошлом главным источником урана были богатые жилы (от 0,3 до 2,0% U_3O_8), которые в настоящее время стоят на третьем месте (табл. 13). Первые два места твердо заняли экзогенные месторождения.

Главным качественным показателем уранового сырья по-прежнему остается содержание в руде U_3O_8 . По этому показателю руды урана делятся на три группы: богатые, с содержанием U_3O_8 больше 0,3%; бедные, с содержанием U_3O_8 от 0,05 до 0,3%, и убогие, с содержанием U_3O_8 0,005—0,05%.

6. РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Часть этих элементов применяется в промышленности с начала текущего столетия, хотя открыты они уже сравнительно давно. Некоторые из них практически используют в промышленности лишь с середины XX в. в связи с развитием новой техники. Потребление многих редких элементов все время растет, но пока масштабы их добычи и потребления измеряются сравнительно небольшими цифрами. Используются они в современной атомной и реактивной технике, электронике, радиотехнике, тепломеханике, автоматике.

Редкие и редкоземельные элементы обычно генетически связаны с породами кислой и щелочной магм и довольно широко распространены в земной коре.

Редкие элементы — бериллий, тантал, ниобий, литий, цирконий — и редкоземельные элементы группы церия и иттрия имеют свои минеральные формы и образуют месторождения, на которых они добываются как главные или побочная (но промышленно важная) часть руды.

Бериллий. Из бериллиевой бронзы изготавливаются многие важные детали электроаппаратуры. Чистый металлический бериллий используется в атомной промышленности как источник и замедлитель нейтронов. Он применяется также в рентгенологии. Окись бериллия в особых случаях употребляется как огнеупор и может быть использована в реактивных двигателях для получения термoeлектрической энергии.

Важнейшим минералом бериллия является берилл, в небольшом количестве для промышленных целей используются хрикоберилл, фенакит, берtrandит.

Минералы бериллия часто извлекаются из руд в комплексе с другими полезными компонентами (тапталом-ниобатами, слюдой, литием, касситеритом, вольфрамитом, молибденитом и др.) Обогащение до последнего времени производилось путем ручной сортировки, но теперь разработана методика механической обработки мелкокристаллических руд. Содержание бериллия в собственных рудах

0,1%, в комплексных — 0,02% представляет промышленный интерес. Высокосортные бериллиевые концентраты содержат 10—13% BeO , низкосортные — 7—8%.

К промышленным типам месторождений бериллия относятся:

Таблица 13

Промышленные типы месторождений урана в капиталистических странах

Краткая характеристика типов	Содержание U_3O_8 в %	Добыча в % (приблизительно)	Примеры месторождений
1. Выдержанные пластообразные тела ураноносных пород в метаморфизованных докембрийских конгломератах	0,05—0,2	50	Аглом-Квирк, Аглом-Нордик (Канада), Витватерсранд (ЮАР), Жакобина (Бразилия)
2. Средние и мелкие пластообразные и линзообразные тела уранованадатов в аркозовых песчаниках, конгломератах, битуминозных породах	Более 0,3	25	Кеплик-Холл, Амбровиа Лейк, Моньюмент II (США), месторождения Катанги, Габона
3. Мелкие жилы и жильные зоны кварцевые, кварцево-карбонатные, флюорито-баритовые, урановой пятиэлементной, урано-подметаллической, урано-медной и урано-молибденовой формаций в изверженных и метаморфических породах	Более 0,3	20	Эльдорадо (Канада), Шинкодобве (Конго, Леопольдвилль)
4. Ураноносные пегматиты в различных породах	Менее 0,3	5	Месторождения Канады, Индии, Аргентины

Примечание. Здесь не упоминаются огромные морские россыпи монацита (содержащего уран), в котором основная роль принадлежит торию и редкоземельной цериевой группе.

1. Мелкие жилы, ливзы и неправильные тела гранитных пегматитов типа блоковых, а также замещенных мусковито-сподуменолепидолито-альбитовых с бериллом и танталит-колумбитом, приуроченные к гранитам и их экзоконтактам, преимущественно среди метаморфизованных пород. Месторождения этого типа имеются в Бразилии, Мозамбике, Аргентине, юго-западной части Африки, СССР.

2. Средние по размеру кварцевые и полевошпатово-кварцевые бериллоносные жилы, а также вольфрамо-оловянные бериллоносные жилы и зоны в кислых и ультракислых гранитах или вблизи их контактов. В некоторых грейзеновых зонах с большими запасами бериллия берилл представлен очень мелкими зернами. Месторождения этого типа известны в Индии.

3. Жилообразные и линзообразные тела бертраундитовых и фенакитовых руд, часто с флюоритом, в различных породах, вблизи гранитов. Месторождения этого типа известны в США и СССР.

Тантал и ниобий. Тантал может сорбировать газы, весьма устойчив против коррозии. тугоплавок, способен к высокой электронной эмиссии. Все это определяет широкое использование тантала в электротехнической, электровакуумной, радиотехнической отраслях промышленности. Кроме того, тантал применяется в медицине для шивания кровеносных сосудов. Ниобий, во многом сходный с танталом, употребляется главным образом в черной, цветной металлургии и в электротехнике.

Около 120 минералов содержат в том или ином количестве тантал и ниобий, но промышленностью используются только шесть: танталит, колумбит, пирохлор, копит, лопарит, ильменорутил.

В коренных месторождениях промышленное содержание обычно выражается в 0,05—0,2% Ta_2O_5 и 0,1—0,4% Nb_2O_5 ; 0,3—0,4% Ta_2O_5 считается довольно высоким содержанием. В россыпях содержание пятиокси тантала колеблется в еще более широких пределах: от десятков граммов до десятков килограммов на 1 м³ песков. По иностранным стандартам танталовые концентраты первого сорта должны содержать 60—65% Ta_2O_5 и <10% Nb_2O_5 , а ниобиевые — 60% Nb_2O_5 (пирохлоровые — 30% Nb_2O_5). Для ферросплавов используются низкосортные концентраты с содержанием пятиокси ниобия около 10%, но с ограниченным количеством вредных примесей — фосфора (<0,05%), кремния (<1,5%), олова, циркония, титана.

Среди месторождений тантала и ниобия установлено пять промышленных типов.

1. Мелкие и средние жилы и неправильные тела гранитных пегматитов (мусковито-сподумено-лепидолито-альбитовых) с танталит-колумбитом, залегающие в гранитах и их экзоконтактах. К ним относятся многие месторождения Южной Америки.

2. Крупные массивы, зоны, залежи и разнообразные неправильные тела пирохлорсодержащих карбонатитов в метаморфических и ультраосновных щелочных породах, а также на контактах последних с кристаллическими известняками. Месторождения этого типа известны в Норвегии, Канаде, СССР.

3. Пласты стратифицированных щелочных интрузий или массивы щелочных пород с лопаритом и редкоземельными минералами.

4. Средние и мелкие зоны грейзенизированных и альбитизированных гранитов с танталитом и микролитом.

5. Небольшие россыпи, преимущественно аллювиальные, реже делювиальные, с колумбито-танталитом или пирохлором, образовавшиеся за счет разрушения пегматитовых кварцево-колумбитовых жил, а также массивов пирохлороносных карбонатитов. Особенно известны россыпи Нигерии и Конго (Леопольдвиль). В Нигерии, кроме того, имеются колумбитовые граниты.

Литий. Широко используется в металлургии, производстве аккумуляторов, электрических ламп, смазочных материалов, установок для кондиционирования воздуха, в фармацевтике, керами-

ческой и резиновой промышленности, ядерной технике, производстве сверхчистых металлов.

Литий входит в состав 45 минералов, но промышленно важными являются только шесть: сподумен, лепидолит, петалит, амблигонит, циннвальдит, литиофилит.

Большинство промышленно важных литиевых минералов связано с кислой магмой. Промышленный тип месторождений лития совпадает с вышеописанным первым типом бериллия и поэтому здесь не повторяется. Литий также добывается из рассолов некоторых озер.

Содержание 0,7—1,0% Li_2O в сподуменовых рудах считается промышленным, хотя обычно литий добывается попутно с бериллом, танталитом, колумбитом или с касситеритом и вольфрамитом. Концентраты из сподуменовых руд должны содержать не менее 4—6% окиси лития, из амблигонитовых — не менее 8%, а из лепидолитовых — не менее 3%.

Цирконий. Также является металлом новой техники. Окись циркония широко используется в керамическом и стекольном производстве. Металлический цирконий применяется в электротехнике, вакуумной технике, химическом машиностроении, для покрытий, для производства некоторых деталей машин, в пиротехнике, медицине, оптике, светотехнике. Известно свыше 30 минералов, в состав которых входит цирконий, но практически только циркон и бадделент имеют промышленное значение.

В аллювиальных россыпях и в остаточных месторождениях промышленные концентрации циркона обычно выражаются в 0,5—10% или ~20 кг на 1 м³ песков. При попутной добыче содержание циркона может быть значительно меньше (порядка сотен граммов на 1 м³ песков).

Цирконовые концентраты химически перерабатываются в продукт, содержащий не менее 90% циркония (для использования в керамике 98—99,7%). В отдельных случаях применения цирконий должен быть свободен от примеси гафния.

Существуют два промышленных типа месторождений циркония.

1. Крупные россыпи, преимущественно прибрежно-морские, содержащие циркон, монацит, ильменит и рутил (Индия, Австралия, США), иногда бадделитовые (Бразилия).

2. Плащеобразные тела коры выветривания, представленные бадделитом (цирконитом), который образовался за счет выветривания эвдиалита, содержавшегося в нефелиновых сиенитах (этот тип известен пока только в Бразилии).

Неправильные, реже жиллообразные цирконсодержащие тела в щелочных изверженных породах еще не признаны как самостоятельный промышленный тип, хотя кое-где эти руды используются.

Редкие земли. Редкие земли (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) образуют «собственные» минералы, которые

участвуют в образовании россыпных месторождений. Из этих минералов редкие земли извлекаются комплексно.

Свойства всех этих элементов очень близки, что затрудняет их отделение друг от друга; поэтому практически приходится рассматривать две группы: цериевую (ведущий элемент церий) и иттриевую (ведущий элемент иттрий).

Более широкое применение в промышленности имеют элементы цериевой группы (не пропускающие радиации). В частности, церий употребляется для углей дуговых ламп, для сплавов с алюминием и магнием. Гадолиний поглощает нейтроны, вместе с тулием и самарием он применяется в атомной технике. Тулий-170 испускает рентгеновские лучи. Редкие земли используются в производстве нержавеющей стали, специальных глазурей в керамике, в качестве катализаторов, для изготовления фосфорисцирующих смесей в фотোগрафии.

Редкие земли входят в состав примерно 70 минералов, из которых наиболее важными в промышленном отношении являются монацит и ксенотим. Элементы иттриевой группы обычно связаны с нефелиновыми шенитами. Элементы цериевой группы часто присутствуют в монаците, встречающемся в пегматитах, гранитах и гнейсах.

7. РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К рассеянным элементам принадлежат: цезий, германий, таллий, скандий, кадмий, селен, теллур, рубидий, галлий, индий, гафний, рений.

Только часть этих элементов образует «свои» минералы. Вообще же все рассеянные элементы добываются попутно.

Запасы рассеянных элементов целесообразно выявлять и брать на учет при содержании их в руде не ниже 3 г/т.

Цезий. В заметных количествах цезий входит в состав семиосьми минералов, но образует только два самостоятельных минерала: родицит и поллуцит. Последний, содержащий 30—36% Cs_2O , встречается в пегматитах совместно с петалитом, лепидолитом, фосфатами лития и др. Содержание в жилах 1% окиси цезия уже требует внимания при разведке.

Применяется цезий главным образом в производстве фотоэлементов для телевизоров, в различных сплавах, в радиоактивной технике и электронике и, кроме того, как топливо в ионных двигателях.

Концентраты с содержанием окиси цезия до 28% получают ручной сортировкой поллудитовосных пегматитов. Основная масса цезия вместе с рубидием извлекается попутно при переработке литиевых (лепидолитовых) концентратов или карналлита.

Германий. Служит основным материалом для полупроводников и применяется главным образом в радиотехнике и в оптической промышленности. Добавленный к сплавам некоторых металлов, повышает их прочность.

Из минералов германия следует назвать: германит, аргиродит, канфилдит и ультрабазит.

Обычно германий находится в рассеянном состоянии, содержание его около 0,1—0,3%, выявленное в сфалеритах, является наивысшим. Значительные концентрации его установлены в углях, а также в некоторых железных рудах. При разведке заслуживает внимания содержание германия в сульфидах и коксующихся углях, достигающее 5—7 г/т.

Таллий. Употребляется для различных сплавов, изготовления электродов, амальгам, фотоэлементов, термометров, в сельском хозяйстве и медицине.

Известные минералы таллия — крукезит, лорандит, врбаит и гутчинсонит — редки и нигде не встречены в промышленных количествах. Содержание таллия обычно выражается в сотых долях процента, а в сульфидах иногда достигает 0,1%.

В рассеянном состоянии таллий встречается в халькопирите, сфалерите, галените, марказите и в некоторых низкотемпературных жилах в сульфидах мышьяка, сурьмы, серебра, меди. Большие его концентрации связаны с сурьмяно-ртутными рудами.

Скандий. Применяется в электротехнике, медицине и в виде добавки к хромо-никелевым сплавам.

В больших количествах скандий присутствует только в составе минерала тортвейтита ($\text{Sc, Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$). Как примесь он входит еще в несколько минералов (берилл, ортит, амфиболы и др.). Извлекается попутно из оловянных и вольфрамовых концентратов при содержании окиси скандия около 0,1%.

В настоящее время известно только одно промышленное месторождение тортвейтита на о-ве Мадагаскар.

Кадмий. Употребляется как антикоррозийное покрытие изделий из стали, для изготовления баббитов и красок, особых стекол, для повышения прочности медных проводов, в пиротехнике.

Известные минералы кадмия — гринокит, отавит и окись кадмия — не имеют промышленного значения. В основном кадмий образует изоморфную примесь в сфалерите, где его содержание доходит до 1,5%, а иногда до 5%, но обычно колеблется от 0,1 до 0,5% (для некоторых месторождений отношение $\text{Cd} : \text{Zn}$ в руде достигает 1 : 200 и даже 1 : 100). Промышленное содержание кадмия в комплексном сырье, по данным США, составляет 0,002% и выше.

Селен. Применяется для окраски стекла, в производстве фотоэлементов, в фототелеграфе, телевидении, для изготовления выпрямителей переменного тока, в резиновой промышленности, в качестве добавок к сталям и некоторым важным сплавам, но основное значение имеет как полупроводник.

Известно 37 самостоятельных селеновых минералов, но промышленных скоплений (месторождений) они обычно не дают. Практически весь селен связан с сульфидами. Только в Боливии обнаружено месторождение селеновых руд с содержанием селена в несколько десятков процентов. Главным минералом этих руд является блокит (селенид никеля и меди).

Содержание селена в руде выражается тысячными и сотыми долями процента. В некоторых сульфидных месторождениях отношение $Se : S$ достигает $1 : 600$. В составе халькопирита и пирита селен составляет сотые и редко десятые доли процента.

Теллур. Используется менее широко, чем селен, хотя также является полупроводником; применяется в качестве добавок к свинцу, нержавеющей стали, меди, для детекторов и термопар, в резиновой и керамической промышленности.

Известно около 40 минералов, в состав которых входит теллур, но промышленные скопления их неизвестны. Большая часть теллура сосредоточена в месторождениях медистых пиритов, преимущественно в тех, которые содержат примеси сфалерита и галенита. Здесь теллур, находясь в рассеянном состоянии, содержится в количестве от тысячных до сотых долей процента. Теллур содержится также в никелевых сульфидных рудах, где отношение $Se : Te$ колеблется от $4 : 1$ до $28 : 1$.

Рубидий. Применяется в фотоэлементах, газосветных трубках, ртутных лампах, в качестве газопоглотителя при удалении остатков воздуха из вакуумных ламп, в рентгентехнике, электроаккумуляторах и других областях новой техники.

Геохимически этот элемент близок к цезию и литию, но проявляется только в рассеянном состоянии. Часть калия в родчидите и полевых шпатах изоморфно замещается рубидием, а амазонит содержит до 3,12% Rb_2O . Рубидий обычно присутствует в лепидоците, где он составляет до 1,73% (юго-западная часть Африки). В силвине и карналлите соляных месторождений содержание рубидия на массу солей достигает 0,04%, но обычно выражается в тысячных долях процента.

Галлий. Используется в вакуумной технике, при изготовлении светящихся составов, в качестве добавок к сплавам алюминия, в электротехнике и приборостроении.

Наиболее высокая концентрация галлия известна в германите (до 1,85%), а также в мусковите, сфалерите, цеолитах и бокситах (до 0,1%).

Индий. Употребляется в сплавах, для антикоррозийных покрытий металлов, в ответственных частях машин для флота и авиации, в специальных сплавах и припоях, для некоторых видов стекол, для покрытия прожекторных зеркал.

Этот металл очень часто встречается в сфалеритах, франкелите и киляндриите, в составе полиметаллических сульфидных руд (особенно в сульфоантимонитах свинца), где 0,002% In (20 г/т) представляет промышленный интерес.

Гафний. Очень близок к цирконю и обычно встречается совместно с ним. Применяется в производстве вольфрамовых нитей. Вероятно, будет широко использован в радио- и электротехнике, а также в атомной технике.

Практически задача поисков и разведок гафния сводится к обнаружению такого циркона, в котором достаточно высокое отношение

гафния к цирконю. Наибольшее известное отношение $\text{Hf} : \text{Zr}$, равное 1 : 6, отмечено в цирконах из жил гранитных пегматитов, обычно же оно колеблется от 1 : 80 до 1 : 40. В Норвегии обнаружен альбит с содержанием гафния до 16 %.

Рений. Используется для покрытий, в производстве электронных трубок, нитей для ламп накаливания, выключателей, перьев, термомпар.

Это типичный рассеянный элемент, связанный главным образом с молибденитом. Промышленным источником получения рения служат молибденитовые концентраты, в которых содержание рения колеблется от 0,05 до 100 г/т.

8. СЫРЬЕ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Флюорит. Главной областью применения флюорита является металлургия, поглощающая примерно 80 % добываемого флюоритового сырья.

Месторождения флюорита всегда содержат в большем или меньшем количестве сульфиды, барит, кальцит и некоторые другие жильные минералы. Для металлургии необходим кусковой флюорит ($>10 - 15 \text{ мм}$) с минимальным (нерегламентированным) содержанием вредных примесей — SiO_2 и BaSO_4 . Требования химической промышленности к флюоритовому сырью строже: $\text{CaF}_2 \geq 98\%$, $\text{CaO} < 1\%$, $\text{SiO}_2 < 1\%$, при практическом отсутствии Ba , Pb и S . В стекольной и керамической промышленности применяется сырье состава: $\text{CaF}_2 \geq 95\%$, $\text{SiO}_2 < 3\%$, $\text{CaO} < 1\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$.

Месторождения флюорита встречаются во всех странах света и представлены одним промышленным типом: трещинные зоны, жилы и пластовые жилы флюорита в различных, чаще в карбонатных породах. Сюда относятся месторождения СССР (Восточное Забайкалье), ГДР (Гарц), Мексики, Франции, США (Кэйвин Рок), Канады (Ньюфаундленд).

Флюорит в значительном количестве расходуется на получение искусственного криолита. (В Гренландии известно одно месторождение природного криолита — Ивигтут).

Графит. Используется в производстве жароупорных тиглей (кристаллический или чешуйчатый с содержанием углерода не менее 85 % летучих не более 3 %, CO_2 не более 0,3 %), в качестве смазки (крупночешуйчатые разности), в электротехнике, литейном деле, красочной промышленности, производстве карандашей.

В зависимости от применения графиты разделяются на следующие сорта (табл. 14).

Руды графита по содержанию углерода чрезвычайно разнообразны.

Промышленные месторождения графита представлены следующими тремя типами:

1. Зоны или жилы явно кристаллического графита в докембрийских метаморфических породах. Среднее содержание графита

Характеристика сортов графита

Сорт	Гранулометрическая характеристика в мм	Зольность в %
Тигельный	От +0,2 до +0,12	От 8 до 30
Элементный	От -0,2 до -0,15	От 6 до 35
Карандашный	От -0,075 до -0,061	От 4,5 до 14
Литейный	От -0,15 до -0,1	От 12 до 60

в зонах 5—10 %, а минимальное промышленное содержание углерода, например в рудах штата Алабама 2,5—3 %. В пределах рудных зон или обособленно встречаются жилы, линзы и гнезда различных размеров сплошного графита (до 85—92 %). Как зоны, так и жилы сплошного графита известны на Мадагаскаре, Цейлоне, в Индии, а также в различных районах СССР и США.

2. Жилкообразные и линзообразные тела явно кристаллического графита в карбонатных породах, вблизи их контакта с интрузивными породами. Содержание графита колеблется от 2 до 10 %. Представители этого типа имеются в СССР (Боготольское месторождение), в Канаде (штаты Онтарио и Квебек), Австрии и Чехословакии.

3. Пласты скрытокристаллического графита среди осадочных пород. По простирацию пласты графита иногда переходят непосредственно в пласты угля. Содержание графита в отдельных штуфах руды может достигать 92—95 %, но обычно составляет 70—85 % и менее. По качеству скрытокристаллический графит значительно менее ценен, чем явно кристаллический. К этому типу относятся Курейское месторождение в СССР, ряд месторождений Японии и Китая.

Магнезит. Используется в качестве огнеупорного материала, в цементном производстве, а также как сырье для получения магния. Подавляющая часть (90 %) добываемого в СССР магнезита идет в огнеупорное производство.

Сырой магнезит, идущий на производство металлургического порошка, должен содержать MgO не менее 40 %, CaO не более 2,8 % и SiO₂ не более 2,3 %. Для изготовления кирпича применяется магнезит с содержанием MgO не менее 43,0 %, CaO не более 1,5 %. Технические условия на обожженный магнезит, применяемый в производстве цемента, требуют содержания MgO не менее 75 %; кроме того, должно быть регламентировано содержание CaO, SiO₂, полумторных окислов и влаги. Магнезит, используемый как сырье для получения магния, должен содержать MgO не менее 87 %, CaO до 1,8 %, SiO₂ до 1,8 %, R₂O₃ до 2 %, влаги не более 1,5 %. Потери при прокаливании не должны превышать 6 %.

Имеются два промышленных типа магнезитовых месторождений.

1. Крупные и средние пласты и пластообразные залежи кристаллического магнезита среди карбонатных пород. К этому типу относятся, например, Сатка на Урале и огромные месторождения на севере Китая.

3. Средние и мелкие жильные и гнездообразные тела аморфного магнезита в коре выветривания серпентинитов. Это небольшие, но необходимые промышленные месторождения так называемого «эвбейского» типа. К ним относятся: Халилово (Урал), Эвбеа (Греция), месторождения Индии.

Огнеупорные глины и каолины. Области использования глил весьма разнообразны. Здесь не имеется в виду строительное дело, куда идет, вероятно, свыше 90% добываемых глин. Речь идет о тех 5% глин, которые расходуются на огнеупорные изделия, бумажное производство и керамику. Эти глины являются очень ценным сырьем, и некоторые из них служат важным объектом международной торговли.

Различные отрасли промышленности предъявляют к качеству глин разные требования, в которых обусловлены пластичность, усадка, огнеупорность (плавкость), состав (содержание SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) и предельное количество вредных примесей (например, для огнеупорных глин $<1\%$ С. CaO , MgO , TiO_2).

Огнеупорность глин, употребляемых в металлургии, должна быть в пределах $1580-1750^\circ$, содержание Al_2O_3 25—40%, Fe_2O_3 не более 2—3%. Для глин и каолинов, используемых в керамическом производстве, важными показателями являются температура плавления и спекания, окраска после обжига, пластичность и связующая сила, загрязняющие примеси.

Глины и каолины, применяемые в указанных отраслях производства, сосредоточены в месторождениях двух п р о м ы ш л е н н ы х т и п о в

1. Пластообразные тела огнеупорных глин среди отложений озерной и болотной фации. Они часто залегают в основании каменноугольных пластов и связаны с континентальным периодом накопления осадков. Это огнеупорное сырье применяется в основном для изготовления шамота. Месторождениями этого типа являются Латненское и Часов-Ярское (СССР).

2. Плащеобразные скопления каолина над породами с большим содержанием полевых шпатов. Это остаточный продукт, содержащий значительное количество кварца, который удаляется отмучиванием. Встречаются и переотложенные скопления. Сюда относятся месторождения Забайкалья (СССР).

Формовочные материалы. Главная масса формовочной смеси состоит из кварцевого песка, составляющего 85—95% смеси по весу. Согласно ГОСТу формовочные пески делятся на пять классов в зависимости от содержания глинистой составляющей: первый класс — не более 2% глинистых частиц, остальные классы — от 2 до 50%. Для оценки песков как формовочного материала важен гранулометрический состав, газопроницаемость при различной влаж-

ности и химический состав. Формовочная глина должна обладать высокой связующей способностью и огнеупорностью (температура плавления 1350—1580°).

Обычными представителями месторождений формовочных материалов являются пластовые и пластообразные залежи песков среди осадочных свит, широко распространенные во всем мире.

В составе формовочных смесей употребляются диатомит, боксит, диаспор, кварц, хромит, силлиманит, доломит, шпинель, циркон, рутил, берилл.

Металлургической промышленности необходимы также флюсовые известняки, бокситы, борные соединения, минералы стронция, фосфаты и некоторые другие виды минерального сырья.

9. СЫРЬЕ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Фосфатное сырье. 90% фосфата земной коры находится в изверженных породах в виде апатитов и 5% — в осадочных породах в виде фосфоритов.

Фосфориты — осадочные образования, в которых фосфатное вещество состоит из высокодисперсного фторапатита.

Фосфаты применяются для производства минеральных удобрений, химикалий, элементарного фосфора, в черной и цветной металлургии. Промышленные фосфатные руды содержат от 8 до 40% P_2O_5 . В месторождениях Марокко содержание P_2O_5 иногда превышает 90%. Вредными примесями считаются окислы железа и алюминия.

Для апатито-нефелиновой руды, перерабатываемой на суперфосфат, принят предел содержания нефелина 8—9% и $P_2O_5 \geq 37\%$. Содержание CO_2 более 5—6% нежелательно. Оптимальное отношение $SiO_2 : CaO \approx 0,8—1,0$.

Среди месторождений фосфатного сырья выделяются следующие промышленные типы.

1. Пластовые месторождения фосфоритов в осадочных толщах. Этот основной тип, дающий почти 100% зарубежной добычи, подразделяется на несколько подтипов, главными из которых являются месторождения фосфоритов часто оолитового строения, залегающие в известняках среди складчатых сооружений (Каратау, СССР; Лайдахо, США), а также разнообразные пласты фосфоритов на платформе (СССР, США). Кроме указанных подтипов, известны промышленные месторождения в виде галечников из остаточных и перерогложенных фосфоритов (Флорида, США), а также фосфориты-гуано (на островах Океании).

2. Крупные пластообразные тела апатито-нефелиновых пород в стратифицированных ийолит-уртитах и нефелиновых сиенитах. Крупнейшими представителями этого типа являются месторождения Хибин (СССР).

Сера и пирит. Сера используется главным образом для производства серной кислоты, в бумажной, лакокрасочной, резиновой и пищевой промышленности, а серная кислота применяется

в производстве удобрений, в металлургической, текстильной, угольной и химической промышленности и для изготовления взрывчатых веществ.

Требования промышленности к серному сырью зависят от способа его переработки. Для вылавки серы в автоклавах или печах Джили необходима определенная кусковатость руды и содержание серы не менее 20—25%. При переработке с предварительной флотацией достаточно 5—6% серы в рудах. Кроме того, в серных рудах должно быть ограниченное содержание битумов, мышьяка, селена и теллура.

Отчетливо выделяется один промышленный тип месторождений самородной серы — пласты и пластообразные тела серных руд, залегающих в карбонатных породах (перемежающихся или контактирующих с сульфатными) среди нефтеносных осадков неогена. Многочисленные месторождения известны в Чили, Италии, США. Сюда же относятся крупнейшие скопления серы Средиземноморской провинции и юга Северной Америки.

Месторождения пирита, используемого для производства серной кислоты, представляют собой третий тип уже рассмотренных медных месторождений, хотя иногда встречаются и самостоятельно.

Мышьяк. Употребляется главным образом в сельском хозяйстве, а также в некоторых сплавах, в производстве красителей, пигментов, лекарств и различных химических препаратов.

Промышленными минералами мышьяка служат арсеницит, реальгар, аурипигмент и теннантит. Получается мышьяк попутно из дымов плавильных заводов, перерабатывающих медные, полиметаллические, золотые и серебряные руды. Имеются и самостоятельные месторождения мышьяка, значение которых невелико.

Бор. Потребителями бора являются все отрасли промышленности, сельское хозяйство и медицина. Особенно много бора использует стекольная и керамическая промышленность. Заслуживает внимания применение бора в металлургической, химической и электротехнической промышленности, в ракетной технике в качестве топлива и особенно в атомных реакторах как замедлителя ядерных реакций.

В настоящее время известен 91 борный минерал, из которых 63 приходится на долю боратов и 28 — на долю боросиликатов. Наиболее распространены бура и борная кислота. Большое практическое значение имеют бораты кальция, магния, натрия, колеманит, борцит, кернит. Постепенно приобретает значение гипогенный борат — людвигит. Среди боросиликатов наиболее важны датолит и данбурит.

Промышленные типы месторождений бора.

1. Пластовые и пластообразные тела боратовых руд (с бурой, кернитом и другими минералами) в вулканогенно-осадочных толщах. Месторождения этого типа имеются в округе Крамер и других (США), в Тибете (Китай), а также в Аргентине, Боливии, Перу, Чили и Турции.

2. Пластообразные и линзообразные тела сплошных и вкрапленных боратов (преимущественно магнезиальных) среди каменных солей. Промышленное значение имеют обычно вторичные скопления, преимущественно в соляной шляпе (кечрук).

Широко проявляются пласто- и линзообразные тела датолито-данбуритовых или людвигит-магнетитовых руд с магнезиальными скарнами вблизи контактов осадочных и изверженных пород. Этот тип месторождений бора практически только вырисовывается.

Большое промышленное значение имеют соляные озера (Сёрлс и Оуэнс в США) с растворенной в них бурой. Из оз. Сёрлс и месторождения Крамер добывается основная масса бора, составившая в 1960 г. около 300 тыс. *т* B_2O_3 .

Ископаемые соли ($NaCl$, KCl). Являются важнейшим химическим сырьем, имеющим весьма широкое применение прежде всего в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Содержание K_2O в массе соли колеблется от 9 до 26%. При добыче ископаемых солей часто попутно извлекаются хлориды кальция, магния и бром. Основное количество калия извлекается из месторождений ископаемой соли. В некоторых из них имеется несколько калийных пластов. Месторождения известны в ФРГ, ГДР, США, СССР, Эфиопии и в других странах.

Из других минеральных солей существенное значение имеют **селитра**, добываемая почти исключительно в Чили, **природная сода** и **сульфат натрия**, часто связанные с современными или древними солончаками.

Стронций добывается из целестина, образующего линзы и пластообразные залежи в осадочных породах — доломитах, известняках, гипсоносных глинах, мергелях и т. п. Целестин совместно со стронцианитом также присутствует в гидротермальных жилах.

К числу прочих полезных ископаемых, используемых химической промышленностью, принадлежат квасцы, барит, боксит, доломит, флюорит, глауконитовый песок, магнезит, а также ряд редких металлов и других элементов.

10. ПРОЧЕЕ ИНДУСТРИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Асбест. Применяется для изготовления специальных тканей, асбесто-цементных изделий, термоизоляционных и атомноизоляционных материалов.

Асбестом называют минералы группы серпентина и амфибола, обладающие способностью расщепляться на гибкие волокна; различают хризотил-асбест и амфибол-асбест (водные силикаты Mg , Fe , Ca , Na).

Выделяют нормальный, полумомкий и ломкий асбест. Деление же нормального асбеста на сорта зависит от длины волокна. Для хризотил-асбеста различают восемь сортов: от высшего сорта (крюк) — длина волокна 18 мм и более до седьмого сорта — длина волокна 0,7 мм. Четыре первых сорта идут в текстильную промышленность, а остальные используются только в строительстве.

Можно назвать два ясно выраженных промышленных типа.

1. Широкие зоны поперечноволоконного хризотил-асбеста в серпентинитах и реже в серпентинизированных доломитах. Этот тип дает около 90% мировой добычи асбеста. К нему относятся месторождения Баженово (СССР), Тетфорд-Блэк Лейк (Квебек, Канада), Барбартуан, Трансвааль, Набана (Африка). Промышленным содержанием асбеста в этих рудах считается: для высших сортов 0,5—2%, для средних 3—8% и для низших 6—15%. Залежи асбеста этого типа приурочены в основном к крупным массивам гипербазитов.

2. Жилы поперечно- и продольноволокнистого роговообманкового асбеста в железистых кварцитах, песчаниках, метаморфизованных серпентинитах. Минеральные агрегаты нередко отличаются большой длиной волокна. Представителями этого типа являются месторождения Пенж в Африке, месторождения крокидолита и амозита в Южной Родезии, Свазиленде, ЮАР, СССР.

Слюды (мусковит, флогопит и вермикулит). Слюда применяется главным образом в качестве тепловых и электрических изоляторов. Наиболее важна слюда для использования в micaитовой изоляции и для конденсаторов. Вермикулит применяется для тепло- и звукоизоляции, в качестве наполнителя (для пластмасс, линолеума, асбестового картона), в производстве смазок и декоративного материала.

Выход сырья мусковита из жильной породы обычно составляет 1—2%, редко достигая 10%, флогопита — колеблется от 5 до 20%. После обрезки пластин слюды выход ее составляет: для мусковита 5—15% от массы сырья, для флогопита около 8%. Таким образом, средний выход листовой слюды из жильной массы в месторождениях мусковита колеблется от 0,1 до 1%, флогопита — от 0,4 до 1,6%. Промышленное содержание мусковита в пегматитах от 10—12 до 60—80 кг/м³.

Вся промышленная слюда должна быть чистой, немаятой и хорошо расщепляющейся. Колотый, очищенный и обрезной мусковит и флогопит классифицируются по сортовому номерам в зависимости от размеров пластин. Сорта вермикулита зависят от внешнего вида и отношения его к термической обработке.

Можно назвать три основных промышленных типа месторождений слюд.

1. Пегматитовые жилы и зоны, обогащенные мусковитом, среди парагнейсов. Сюда относятся мамские и бирюсинские месторождения в СССР, а также месторождения Индии, Бразилии и Канады. Этот тип месторождений дает свыше 90% мировой добычи мусковита.

2. Жилы, зоны, реже гнезда флогопита среди гнейсов, на контактах щелочных пород с доломитизированными известняками. Представителями данного типа являются: Слюдянка (СССР), Оттава (Канада), а также месторождения о-ва Мадагаскара и Индии.

3. Жилообразные и линзообразные залежи вермикулита преимущественно в ультраосновных массивах. К ним относятся: Буддым-

ское (СССР), Либби и Рейне Криик (США), месторождения ЮАР.

Пьезоэлектрическое и оптическое сырье. Под «пьезоэлектрическим сырьем» понимаются однородные монокристаллы кварца, на поверхности которых под влиянием механического воздействия возникает электрический заряд. Кварц и некоторые другие минералы (флюорит, кальцит, галит, гипс) составляют группу «оптического сырья».

Промышленные типы месторождений пьезокварца.

1. Кварцевые и пегматитовые (морионовые пегматиты) жилы, линзы и штоки, а также минерализованные зоны с многочисленными или единичными хрусталеносными погребями, преимущественно среди метаморфизованных пород, реже гранитоидов.

2. Россыпи, преимущественно элювиальные и делювиальные.

Промышленные типы месторождений исландского шпата.

1. Гнезда исландского шпата среди пироксено-цеолитовых пород, обычно на контактах интрузивных диабазов (трапшов), секущих туфогенные отложения, а также небольшие гнезда в диабазах, туфах, или шаровых лавах. Месторождения данного типа известны в Исландии, на Сибирской платформе (СССР).

2. Скопления исландского шпата в пустотах среди карбонатных, иногда мраморизованных пород (Тува, СССР).

Промышленные типы месторождений оптического флюорита.

1. Брекчированные зоны с гнездами и погребями оптического флюорита среди карбонатных пород (Таджикистан, СССР).

2. Гнезда и полости с друзами и единичными кристаллами оптического флюорита в камерных пегматитах, залегающих среди различных пород (Казахстан, СССР).

Алмазы. Используются в качестве драгоценных камней, а также для резки, сверления и протяжки материалов любой твердости. Алмазная пыль служит для шлифовки.

Различают два основных вида алмазов: карбонадо (черные) и борты (прозрачные). Первые добываются в Бахна (Бразилия), Венесуэле, а вторые в Африке — Конго (Леопольдвиль), Гана, Сьерра-Леоне, Танганьика, Гвинея. Месторождения прозрачных алмазов открыты и осваиваются в Восточной Сибири (СССР).

Известны два отчетливо выраженных промышленных типа алмазных месторождений.

1. Разнообразные, преимущественно аллювиальные и береговые россыпи бортов и карбонадо. Среднее содержание алмазов на 1 м³ песков колеблется обычно от 0,1 до 1 карата. Из россыпей добывается главная масса алмазов. Примерами таких месторождений могут служить россыпи Анголы, Ганы в Африке, бразильские россыпи черных алмазов, россыпи Сибирской платформы.

2. Алмазоносные трубы кимберлитов, прорывающих различные породы. Размеры этих труб в поперечнике колеблются от нескольких

метров до 700—800 м. Среднее содержание алмазов в таких месторождениях Африки 0,1—0,5 карата на тонну. Многочисленные месторождения в Африке и в СССР.

Корунд и высокоглиноземные минералы. Можно выделить два промышленных типа корундовых месторождений.

1. Гнезда корунда во вторичных кварцитах и связанные с ними элювиально-делювиальные россыпи. Обычно в периферических частях гнезд корунды через корундо-андалузитовые породы переходят в чисто андалузитовые. Сицилиманитовые, кианитовые, андалузитовые, реже корундовые породы известны в виде пластообразных залежей и линз в кристаллических сланцах Индии.

К этому типу в СССР относятся месторождения Семиз-Бугу и Акташ, за рубежом — месторождения Индии, США (Калифорния).

2. Линзы и гнезда наждака * среди мраморов или на контактах мраморов с ультраосновными породами. В СССР к этому типу относятся месторождения Прииртышское на Урале и Обуховское в Салаире, за рубежом — месторождения в Греции и Турции.

Кроме этих двух типов, известны корундовые десилифицированные пегматиты (марундиты) в виде жил и линз, проявляющихся в гипербазитах ЮАР и Южной Родезии.

Помимо алмаза и корунда, в качестве абразивных материалов используются: гранат, песчаник (точильные камни, оселки), кварц, кремень (жерновые камни, пилы и т. п.), песок, пемза, диатомит, трепел, вулканический пепел. К мягким абразивам, употребляемым для чистки и полировки изделий, относятся глины, полевого шпата, известняк, боксит и т. п.

Тальк. Применяется в бумажной, красочной, керамической, резиновой, химической, литейной, текстильной и других отраслях промышленности. Для промышленного применения талька важны цвет, жирность, мягкость, гидрофобность, химическая инертность, флюсующая способность, электроизоляционные свойства и твердость после прокаливании. Для талька, употребляемого в кондитерских и фармацевтических производствах, содержание мышьяка должно быть не более 0,0014%.

Промышленные месторождения талька представлены следующими типами.

1. Линзообразные и жилкообразные тела талькового камня среди серпентинизированных ультраосновных пород. Содержание талька в породе около 50% является промышленным. К этому типу относятся месторождения: Керябинское, Черниговское (СССР), штагов Виргиния и Вермонт (США).

2. Залежи талька неправильной формы в доломитах. К ним относятся месторождения: в СССР — Оног (Восточный Саян), Бирокамское (Малый Хинган), за рубежом — Гювернер (США), Модок (Канада).

* Наждак представляет собой природную смесь корунда с магнетитом и некоторым количеством гематита и шпинели.

Барит и виверит. Используются в качестве инертных или слабоактивных наполнителей и утяжелителей, а также в качестве сырья для производства белого пигмента, солей и препаратов бария, применяемых в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Приблизительно 50% барита идет на изготовление литопоновой краски, 30% — в толченый барит и 20% — в бариевые химикаты.

Если используется белый барит, то содержание BaSO_4 должно быть не ниже 94%, Fe_2O_3 — не более 0,5% и SiO_2 не более 3%. В других случаях содержание BaSO_4 допускается до 88%, а количество вредных примесей не нормируется.

Требования к качеству барита-утяжелителя следующие: удельный вес не менее 4,0; диаметр частиц не менее 0,07 мм; содержание растворимых солей кальция не более 0,5%; карбонатов не более 0,5%. Барит-наполнитель для лаков и красок должен удовлетворять требованиям: содержание BaSO_4 не менее 95% (I сорт) или 85% (II сорт), SiO_2 соответственно не более 1,5 или 2,5%.

Промышленные месторождения барита представлены двумя типами.

1. Жилы и линзы барита среди различных пород. К этому типу принадлежит большинство месторождений СССР и США.

2. Пластообразные месторождения барита в известняках. К ним относятся: Мегген в Вестфалии, месторождения штатов Виргиния и Арканзас (США).

Полевой шпат. Промышленные требования на полевой шпат затрагивают состав, температуру обжига, цвет, размер кусков и некоторые другие константы.

Промышленный тип месторождений полевошатового (керамического) сырья практически только один: это линзообразные (дайкообразные) тела пегматитов в изверженных и метаморфических породах. Такие месторождения известны во всем мире.

При поисках и поисково-разведочных работах следует учитывать еще некоторые виды минерального сырья, применяемые в качестве минеральных наполнителей, фильтров и очистителей, а также сырья для стекольной промышленности.

Минеральными наполнителями часто служат: бентонит, мел, глина, доломит, гипс, трепел, фуллерова земля, пемза. Много расходуется также асбеста, барита, полевого шпата, слюды, талька, кварца.

К минеральным фильтрам и очистителям принадлежат: диатомит, фуллерова земля, отбеливающая глина, бентонит, боксит, алуниг, фильтрующий песок.

К стекольным пескам относятся чистые кварцевые пески с содержанием кремнезема в пределах 95—99,8%. Сорт изготавливаемого стекла зависит от примесей. Для различных стекол регламентируется количество Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 (допускаются доли процента). Существенное значение имеет гранулометрический состав песков.

11. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К строительным материалам целесообразно относить такие полезные ископаемые, которые без сложной переработки употребляются в строительстве зданий, различных специальных сооружений и дорог. Это прежде всего естественные камни, известняки, глины, пески, гравий и различные материалы, идущие на изготовление кирпича и цемента. Нет смысла рассматривать промышленные типы этих пород, поскольку они практически используются все, в зависимости от экономических условий.

12. КАУСТОБИОЛИТЫ

Среди каустобиолитов (нефть, каменный уголь, горючие сланцы) невозможно и нецелесообразно выделять промышленные типы по тем принципам, которые положены в основу выделения промышленных типов рудного и нерудного сырья.

Месторождения каустобиолитов рациональнее типизировать по другим признакам, в частности по структурным условиям.

Для нефти основными типами месторождений являются: 1) залежи в антиклиналях и куполах, включая и соляные; 2) залежи в синклиналях; 3) экранированные залежи вдоль сбросов и 4) залежи в пористых породах, контролируемые формой коллекторов.

Для угольных месторождений целесообразна группировка ГКЗ СССР: 1) месторождения с горизонтальным или пологим залеганием, платформенного типа; 2) месторождения, приуроченные к крупным складчатым структурам, простого строения, иногда слегка нарушенные и, наконец, 3) месторождения, приуроченные к сложным складчатым структурам, нарушенные, с резкими изменениями элементов залегания.

Главным вопросом при изучении углей является установление их качества, определяющего использование углей в трех основных направлениях: 1) как энергетическое топливо, 2) как технологическое топливо (в основном кокс) и 3) как химическое сырье.

Горючие сланцы обычно представлены горизонтально залегающими или слабо дислоцированными пластами. Основным признаком, определяющим промышленное значение месторождений горючих сланцев, является выдержанность сланцевых пластов по мощности и по качеству. Горючие сланцы, так же как и угли, используются в качестве энергетического топлива и химического сырья.

ПОИСКОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ

1. ПОИСКОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Поисковыми геологическими критериями называются такие геологические условия, которые прямо или косвенно указывают на возможность обнаружения в той или иной обстановке различных полезных ископаемых.

От критериев целесообразно отличать поисковые геологические признаки, т. е. конкретные геолого-минералогические 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 и 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 тех или иных полезных ископаемых. Например, с пермскими отложениями связаны угли Кузбасса и многих других районов, по это не значит, что данный стратиграфический критерий можно распространять на все районы СССР и тем более земного шара.

Геологические критерии и признаки нередко как бы переходят один в другой; особенно часто критерии в некоторых районах становятся признаками.

Все месторождения полезных ископаемых можно рассматривать как геологические тела, возникшие в связи с разнообразными процессами, протекавшими в определенных участках земной коры, и тесно связанные с историей геологического развития этих участков. Все основные геологические науки: динамическая и историческая геология с учением о формациях и фациях, геоморфология, структурная геология, минералогия, петрография, геохимия и учение о полезных ископаемых — в той или иной мере вскрывают и даже формулируют закономерности, определяющие накопление и размещение полезного вещества в горных породах. Анализ, изучение и использование этих закономерностей в виде геологических критериев и признаков составляют одну из основных задач учения о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Геологические поисковые критерии, выявляющиеся при изучении таких закономерностей, естественно, приобретают названия по основному из факторов, определяющих условия локализации и

концентрации полезного ископаемого. Так, целесообразно различать следующие основные критерии: а) климатические, б) стратиграфические (возрастные), в) фашиально-литологические. г) структурные, д) магматогенные, включая изменения вмещающих пород, е) геохимические, ж) геоморфологические и з) геофизические.

Все природные процессы взаимосвязаны, но значение их в различных условиях далеко не равноценно, поэтому роль каждого из геологических поисковых критериев следует кратко рассмотреть раздельно. Хотя в полевой работе многие из них применяются совместно.

Климатические критерии

Климатические критерии хорошо показаны в работах Н. М. Страхова, сформулировавшего их следующим образом: «Очерчивая для каждого отрезка геологического времени пролегание гумидных зон, мы тем самым выделяем на тогдашней поверхности Земли области, которые были благоприятны для формирования химической коры выветривания, каолинов, россышных месторождений Au, Pt, Ti, алмазов и других тяжелых элементов, а также бокситов, железных и марганцевых руд и углей; одновременно выявляются области, запрещенные для их образования. Точно так же, намечая расположение областей аридного климата, мы тем самым указываем пояса земной поверхности, потенциально благоприятные для возникновения и массового накопления доломитов, медистых песчаников, осадочных руд Pb и Zn, гипса, галита, калийных солей, флюорита, целестина, боратов, брома; одновременно намечаются зоны, запрещенные для формирования всех этих накоплений. Таким образом, климатическая зональность литогенеза дает одновременно широкую схему пространственного размещения на поверхности Земли большого числа важнейших осадочных полезных ископаемых, является, так сказать, первым приближением в познании закономерностей их локализации».

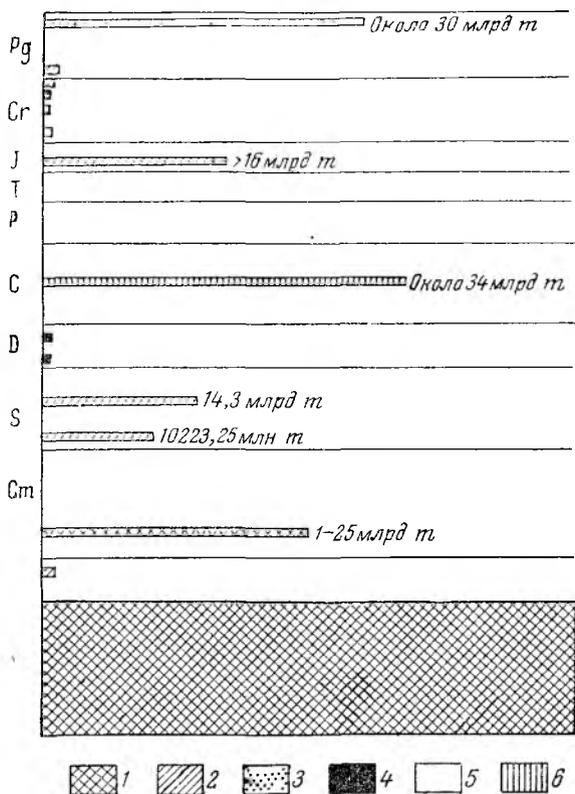
Климатические критерии выявляются при специальных исследованиях, с помощью которых устанавливаются всевозможные зоны палео- и неоклимата.

Стратиграфические (возрастные) критерии

К этой группе критериев относятся геологические условия, связанные прежде всего с возрастом различных осадочных свит (или интрузий), заключающих в себе полезное ископаемое. При этом подразумевается возраст, обоснованный палеонтологическим материалом. В настоящее время возрастные, стратиграфические критерии все шире опираются на определения абсолютного возраста магматических, метаморфических и осадочных пород.

Многие полезные ископаемые встречаются преимущественно в отложениях определенного возраста и не встречаются или редко встречаются в осадках другого возраста. Для большой группы важнейших полезных ископаемых, таких как уголь, железные и марганцо-

вые руды, фосфориты, бокситы и другие, эти закономерности до некоторой степени выдерживаются в пределах всего земного шара и как бы фиксируют продуктивные периоды, а также площади (узлы) их накопления.



Чис. 1. История накопления гипергенных железных руд (по И. М. Страхову)

1 — руды джеспилитового типа, 2 — гидрогетит-шамозит-сидеритовые морские руды, 3 — нонципитальные (элювиальные и озерно-болотные) руды, главным образом гидрогетиты и сидериты, 4 — эффузивно-осадочные руды, 5 — обломочные руды, 6 — сидериты параличских бассейнов.

Запасы руд докембрия изображены без масштаба

Полезные ископаемые осадочного генезиса появляются на различных этапах геологической истории. Например, углистые сланцы известны с нижнего силура, угли — с девона, оолитовые гидрогетит-шамозит-сидеритовые фации — с верхнего протерозоя, а джеспилитовые фации развиты преимущественно в докембрии.

При поисках нужно не только учитывать стратиграфическое положение рудоносных свит и поясовое размещение фаций, но важно ориентироваться на периоды накопления полезных ископаемых, особенно эффективно проявляющихся на какой-либо территории земного

шара. Это дает указание на возможность обнаружения при поисках тех же ископаемых в близлежащих участках земной коры, имеющих аналогичные геологические условия. Приведем примеры.

Опубликованные карты распределения каменноугольных бассейнов и вообще угленосных площадей СССР, особенно карты прогнозов, определяют границы районов возможного угленакопления.

Стратиграфическое размещение гипергенных железных руд хорошо видно на рис. 1. Чередование эпох расцвета железорудных фаций проявляется даже более отчетливо, чем для углей.

Размещение гипергенных марганцовых руд в пространстве и во времени, по Н. М. Страхову, приблизительно совпадает с железными рудами, и они в своем большинстве органически входят в состав железорудных провинций.

Близкая аналогия в размещении марганцовых и железных руд в пространстве и во времени определяет возможность использования стратиграфического критерия при поисках тех и других месторождений. То же самое можно сказать и о месторождениях бокситов. Для поисковых работ очень важно то, что некоторые месторождения железа и бокситов приурочиваются к размытым поверхностям нижележащих пород, т. е. к стратиграфическим перерывам.

Подобным же закономерностям подчиняется распределение в стратиграфическом разрезе фосфоритов, солей, серы, различных строительных материалов.

Фациально-литологические критерии

Разнообразные формации горных пород характеризуются отложениями определенного литологического состава. Литологические критерии являются мощным орудием при поисках как осадочных, так и магматогенных месторождений.

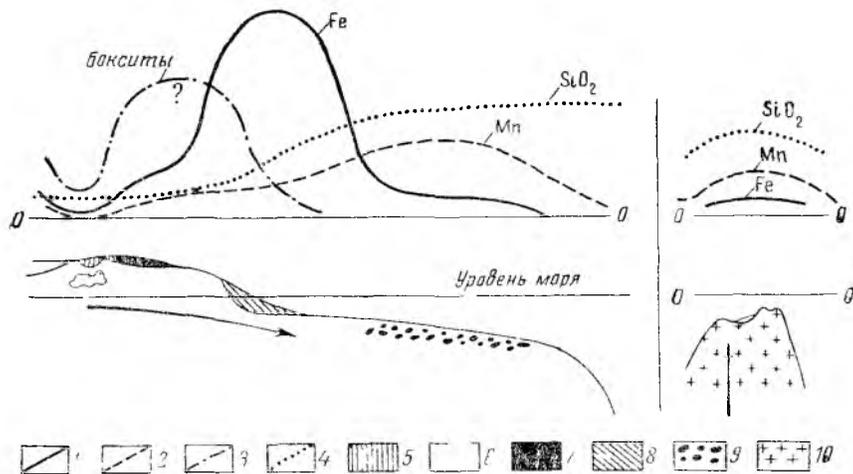
С поисковой точки зрения крайне важно, какими фациальными типами представлены осадочные месторождения полезных ископаемых, а также среди каких пород (или на каких породах) залегают гипергенные и гипогенные месторождения. В первую очередь целесообразно рассмотреть кривую (которую Н. М. Страхов называет фациальным профилем), показывающую характер распределения месторождений (и соответствующих запасов руд) по отношению к линии моря (рис. 2).

Говоря о применении фациально-литологических критериев при поисках железных руд озерно-болотной фации, 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 развиваются над массивами ультраосновных пород (или вблизи них), которые в этом случае могут служить хорошим поисковым критерием.

Железорудные пласты морской фации, состоящие из оолитов, органических остатков и цемента (где, кроме гематита, **шамозита**

и сидерита, почти всегда встречаются карбонаты, кремнезем и фосфаты) сравнительно легко обнаруживаются при геологической съемке и тщательных поисках, как и докембрийские железистые кварциты.

Фация оолитовых марганцовых руд, имеющая исключительную промышленную ценность (Чиатуры, Никополь), проявляет себя подобно железным рудам морской фации. Очень характерно, что в почве оолитовых марганцовых фаций залегают кремнистые осадки, а сами фации часто находятся в различных стадиях метаморфизма.



ис. 2. Фациальный профиль железных, марганцовых руд, бокситов и кремнекислоты (по Н. М. Страхову)

1 — кривая распределения железных руд между различными железорудными фациями; 2 — кривая распределения марганцовых 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 водозных вод; 7 — озерные и болотные руды; 8 — сидеритовые руды параличских угленосных бассейнов; 9 — сидериты нижней (глинистой) зоны шельфа; 10 — осадочно-эффузивные окисные, сульфидные и карбонатные руды. Стрелки показывают направление выноса рудообразующих растворов

Фациально-литологические критерии с успехом используются при поисках железо- и марганцеворудных горизонтов, а также связанных с ними кремнистых лимических осадков (оноки, оноковидные глины, спонголиты, яшмы с радиоляриями, нередко в сопровождении туфов и туффитов). Эти же критерии нужно использовать и при поисках бокситов и фосфоритов.

Главная масса эксплуатируемых в настоящее время бокситов, на исключением месторождений второго промышленного типа (см. гл. I), относится к коре выветривания и связана с латеритными условиями. С точки зрения использования фациально-литологических критериев важно, что алюминиевые руды залегают плащеобразно на гранитах и сиенитах, особенно нефелиновых, а также в латеритной коре базальтов и диабазов в виде изолированных линз. Таким образом, породы субстрата также служат целям поисков. Кроме

того, элювиальные бокситы развиваются на метаморфических сланцах, богатых полевыми шпатами, и неизвестны на осадочных породах.

При поисках фосфоритов важно прежде всего различать две их разновидности: платформенную и геосинклинальную.

Угленосные отложения состоят преимущественно из терригенного материала. Однако их платформенные и геосинклинальные разновидности также значительно отличаются друг от друга. Обычно отрицательным фактором при оценке угленосности является наличие мощной толщи конгломератов, хотя есть и исключения из этой закономерности. Для каждого отдельного угленосного бассейна имеются свои фациально-литологические оценочные критерии.

При поисках силикатных никелевых руд необходимо учитывать, что эти руды развиваются в виде плащеобразных тел в коре выветривания ультраосновных пород и в зоне контакта их с известняками.

Мощная кора выветривания с промышленными концентрациями руд характерна лишь для платформенных условий и гумидных климатических зон.

Приведенные примеры показывают, что литолого-фациальные критерии самым тесным образом связаны со структурными критериями, понимаемыми в широком смысле слова (платформенный, геосинклинальный режим, условия краевого прогиба и т. д.). Связь литолого-фациальных факторов с тектоническими рассматривается в учении о формациях, для развития которого особенно много сделал Н. С. Шатский и его школа.

Формации, по Н. С. Шатскому, это «... естественные комплексы, сообщества или ассоциации горных пород, отдельные части которых (породы, слои, отложения) тесно, парагенетически связаны друг с другом как в возрастном (переслаивание, последовательность), так и в пространственном отношении». Различные формации, по мнению Н. С. Шатского, тесно связаны с определенными тектоническими структурами и сменяются в зависимости от изменения тектонического режима. Различные минеральные концентрации (руды, соли, угли и другие) парагенетически связаны с вмещающими их породами, составляющими формации, но встречаются значительно реже, чем остальные компоненты этих формаций.

На основании изложенного, Н. С. Шатский делает весьма важный вывод: «Минеральные концентрации распределяются в земной коре закономерно, в зависимости от типа формаций и, стало быть, в определенных тектонических условиях». Отсюда вытекает, как подчеркивает Н. С. Шатский, что «формационный анализ» является весьма эффективным методом при поисках полезных ископаемых осадочного и осадочно-вулканогенного происхождения.

Область применения фациально-литологических критериев не ограничивается гипергенными рудами, но распространяется и на гипогенные; в последнем случае эти критерии могут быть названы петрографическими.

Для поисков гипогенных руд очень интересны карбонатные породы, в которых особенно интенсивно развиваются многие метасоматические гипогенные руды. Так, большинство скарнов локализуется в известняках, а вместе со скарнами отлагаются многие железные, медные, вольфрамовые, молибденовые, оловянные, свинцово-цинковые, мышьяковые и золотые руды. Особенно благоприятны карбонатные породы для локализации свинцово-цинковых руд.

С карбонатными толщами связана часть месторождений флюорита, барита, магнезита и др.

Песчано-сланцевые толщи во многих местах вмещают оловянные и оловянно-вольфрамовые руды.

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» местоположением полиметаллических месторождений алтайского типа, а также полезных минералов (андалузит, силлиманит, корунд), связанных с вторичными кварцитами, образовавшимися за счет эффузивных пород.

Здесь не говорится о поисках пород, которые сами являются основными представителями определенных фаций (известняки, глины и т. д.). Все такие породы должны фиксироваться на геологической карте и разрезах к ней, так как практически поисков этих пород не бывает, и геологоразведочные работы начинаются с геолого-экономического обследования этого минерального сырья. Целесообразность разработки подобных месторождений определяется в основном не геологическими, а технико-экономическими факторами.

Структурные критерии

Изучая влияние структур на размещение, локализацию и форму гипогенных месторождений, приходится рассматривать по меньшей мере три рода явлений: 1) размещение металлогенических провинций в пределах складчатых поясов или платформ; 2) размещение рудных рифтов и полей в металлогенических провинциях и 3) локализацию рудных месторождений в рудных полях.

Металлогенические провинции в процессе геологической съемки изучаются в масштабах 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000. Под металлогеническими провинциями понимаются участки земной коры, насыщенные одними и теми же (и часто разновозрастными) комплексами месторождений.

В качестве примеров металлогенических провинций можно назвать: свинцово-цинковую провинцию Каратау; золотую провинцию Северного Казахстана; знаменитый медный пояс Аризоны, где медь локализовалась с докембрия до верхнетретичного времени; золоторудный пояс Канады протяжением свыше 3000 км; серебро-золотую третичную провинцию Мексики (от Гуанajuато до Гидалько); медный пояс Чили, протягивающийся к северу в Перу; оловянно-

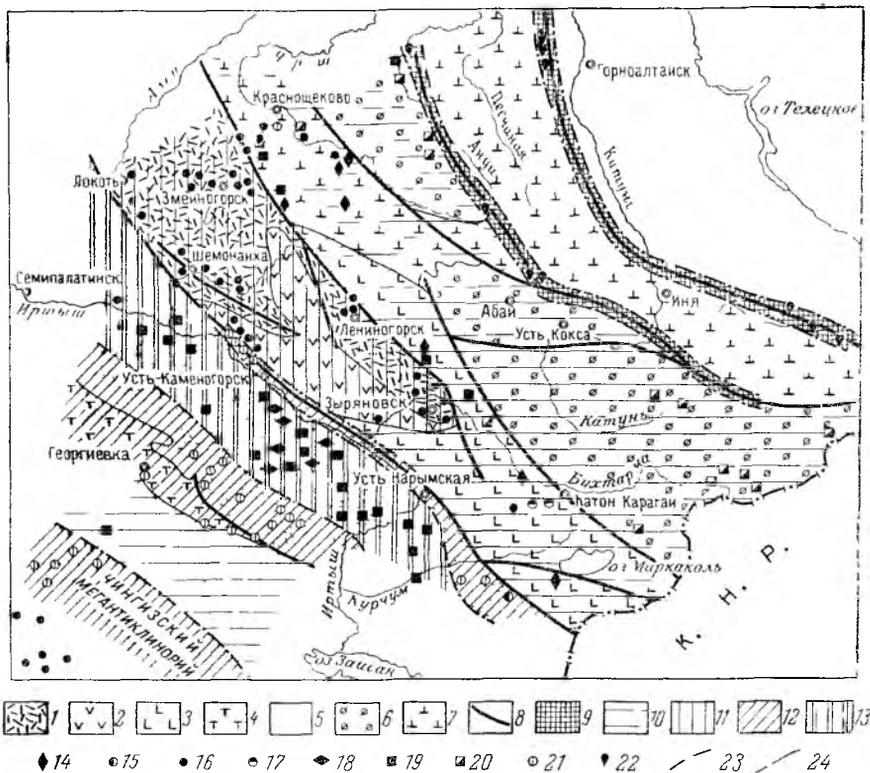


Рис. 3. Геотектоническое положение рудных поясов, совпадающих с тектоническими зонами варисской складчатости, в пределах Алтайской металлогенической провинции (по Д. И. Горжевскому)

1 — антиклинорий, возникшие на месте древних антиклинальных поднятий, 2 — синклинорий, наложенные на древние антиклинальные поднятия, 3 — синклинорий, возникшие на склонах древних антиклинальных поднятий, 4 — антиклинорий, возникшие на месте древних синклинальных прогибов, 5 — синклинорий, унаследовавшие древние синклинальные прогибы, 6 — антиклинорий Горного Алтая невыясненного происхождения, 7 — синклинорий Горного Алтая невыясненного происхождения, 8 — глубинные разломы.

Рудные пояса и зоны 9 — ртутные, 10 — вольфрамовые и молибденово-вольфрамовые, 11 — полиметаллические, 12 — золоторудные, 13 — оловянно-вольфрамовые.

Рудные месторождения 14 — железорудные месторождения скриворо-магнетитовой формации, 15 — медно-пирротиновые месторождения пирротино-халькопиритовой формации, 16 — медные, медно-полиметаллические и полиметаллические месторождения колчеданной формации, 17 — свинцовые месторождения галенитовой или сфалерито-галенитовой формации, 18 — редкометалльные пегматиты, 19 — оловорудные и оловянно-вольфрамовые месторождения касситерито-кварцевой формации, 20 — вольфрамо-молибденовые и молибденовые месторождения вольфрамито-молибденито-кварцевой формации, 21 — золоторудные месторождения золото-кварцевой формации, 22 — ртутные месторождения сурьмяно-ртутной формации, 23 — границы рудных поясов, 24 — границы антиклинорий и синклинорий

серебряную провинцию Боливии (от Потози до Ллалагуа и далее); медный пояс Северной Родезии — Катанги протяжением свыше 400 км; оловянную провинцию Малайского полуострова и близлежащих островов.

В крупных рудных округах обычно выделяется несколько металлогенических провинций. Так, на Алтае в СССР Д. И. Горжевский

выделяет пять типов рудных поясов (рис. 3), а всего восемь поясов.

В Восточном Забайкалье С. С. Смирновым еще в 1931 г. выделены три провинции, или пояса: 1) свинцово-цинковая; 2) оловянно-вольфрамовая и 3) золото-молибденовая. В советской литературе все эти провинции обычно именуется рудными поясами.

Д. И. Горжевский и В. Н. Козеренко, а также другие исследователи показали, что локализация металлогенических провинций связана с различными по характеру структурно-фаціальными зонами, т. е. определяется всей геологической историей развития данного металлоносного участка земной коры.

Установленные этими авторами закономерности в отношении взаимосвязей между структурами и металлогеническими провинциями следует использовать при геологосъемочных и поисковых работах. Основная практическая цель использования этих взаимосвязей — обнаружение рудных полей внутри металлогенических провинций (и, конечно, обнаружение самих провинций, если они еще неизвестны). Поэтому очень важно рассмотреть места локализации рудных полей в металлогенических провинциях.

Рудные поля в металлогенических провинциях могут иметь разнообразную форму, но чаще они бывают вытянуты согласно с простиранием основных структур. Не всегда рудное поле представлено несколькими месторождениями, нередко оно включает всего одно рудное проявление. Иногда два (и даже больше) рудных поля сливаются в единое непрерывное поле.

Установление зависимости между структурами разных порядков, контролирующими месторождения полезных ископаемых, имеет большое практическое значение особенно при изучении и разведке скрытых рудных тел (глубинные поиски).

В общем случае рудные поля появляются на участках интенсивного дробления вмещающих пород, вызванного различными причинами.

В зависимости от структурных условий в первом приближении можно выделить следующие типы полей.

1. Рудные поля * в изгибах антиклинальных структур по простиранию. Этот тип весьма характерен для Хакасии и Средней Азии. Рудные поля в изгибах складок, проявляющихся не только по простиранию, но и по падению, как это характерно для Алтая. За рубежом этот тип хорошо известен в Мексике.

2. Рудные поля в резких изгибах больших разрывных структур по их простиранию. Такие поля описаны в Калбе и Восточном Забайкалье. Подобного же типа рудные поля отмечаются во многих районах Канады.

3. Рудные поля в осевых зонах антиклиналей высших порядков (обычно первого и второго). Такие рудные проявления часто

* Рудные поля, узлы, группы — синонимы.

встречаются в Восточном Забайкалье, Казахстане, в восточной части Австралии и во многих других провинциях мира.

4. Рудные поля в пересечениях крупных разрывных нарушений. Хорошо известны такие рудные поля в Сихотэ-Алине, в пересечениях Саксонских разломов, в Австралии (Квинсленд и Северная Территория). Рудные поля встречаются также в пересечениях молодых разломов с более древними и в пересечениях разломов и зон смятия и особенно в антиклиналях, пересеченных разломами (или зонами развития даек). Рудные поля, приуроченные к подобным структурам, характерны для Средней Азии, Сихотэ-Алиня, а также для Маунт-Айза и других районов Австралии (например, «золотые линии»).

Практически к этому же типу рудных полей относятся и поля, возникающие на участках интенсивного развития трещин, секущих антиклинальные складки. В СССР такие поля известны в Восточном Забайкалье и Казахстане. Этот тип характерен также для рудных районов Канады и Австралии.

5. Рудные поля на участках периклинальных окончаний антиклинорий и больших антиклиналей. Этот тип можно наблюдать в Каратау, Хакассии. На важную роль подобных структур в Америке указывает А. Бэтман. Известны такие поля в Восточной Австралии (Кальгурли и др.). Сюда же относятся рудные поля на погружении дополнительных антиклиналей, поперечных по отношению к основным антиклинальным складкам, как это наблюдается на Алтае.

6. Рудные поля, контролируемые крупными разломами, пересекающими «благоприятные» горизонты. Подобные рудные поля известны на Алтае, на западе Северной Америки и во многих других рудных провинциях мира.

7. Рудные поля в зонах сочленения синклиналей и антиклиналей. Такие поля описаны на различных участках развития полиметаллов в Восточном Забайкалье. К этому же типу можно относить полиметаллические поля в центриклинальных окончаниях синклиналей. За рубежом к нему относятся рудные поля в золотых провинциях Юго-Западной Австралии.

8. Рудные поля, тяготеющие к отдельным интрузивным массивам гранитоидов или к штокам малых интрузий, внедрившимся вдоль тектонических нарушений, или расположенные в интрузивных телах основных или ультраосновных пород.

9. Рудные поля на участках, совпадающих с узкими прогибами пород кровли над древними интрузивными массивами, а также приуроченные к крупным ксенолитам кровли.

Конечно, выделенные структурные условия не всегда явно соблюдаются, нередко два и даже три типа полей сливаются в один, что тем не менее не затрудняет поиски.

Все изложенное как бы указывает каждому геологу, производящему геологическую съемку: изучай структуры и минерализацию складчатых зон, чтобы различать металлогенические провинции;

изучай структуры металлогенических провинций, чтобы научиться находить в них рудные поля; изучай структуры рудных полей, чтобы с наибольшим эффектом выявлять рудные месторождения.

При поисках важно учитывать не только взаимосвязь тектоники и размещения месторождений полезных ископаемых, но и наличие молодых тектонических движений.

Магматогенные критерии

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

В основе всех представлений о происхождении эндогенных месторождений лежит «магматическая гипотеза» о генетической связи между изверженными породами и рудными месторождениями, получившая почти всеобщее признание в XX в.

Анализ вопроса о взаимосвязи руд и изверженных пород 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 массивов и в) вдали от массивов.

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, магнетитовые, реже кобальтовые месторождения.

Наиболее характерной чертой большинства этих месторождений является их приуроченность к самим массивам, поэтому поиски приходится вести внутри массивов изверженных пород. Только отдельные месторождения встречаются в близлежащих участках вмещающих эти массивы пород, что расширяет сферу поисков.

Перечисленные полезные ископаемые проявляют довольно четкую связь с ультраосновными и основными породами. Платина и хромшпинелиды связаны с дунитами в перидотитовых массивах, алмазы приурочены к кимберлитам (и россыпям за счет последних). Главнейшие месторождения хризотил-асбеста залегают в серпентинитах, с которыми также связаны корундовые плагиоклазиты, вермикулит и тальковый камень. Амфибол-асбест нередко приурочен к зонам оталькования и карбонатизации в серпентинитовых массивах.

С ультраосновными и основными породами связаны сульфидные сплошные и вкрапленные месторождения никеля, а месторождения титана находятся в массивах основных пород.

При поисках всех указанных месторождений необходимо разрешить три основные задачи. Первая задача — установить форму интрузива и условия его залегания по отношению к вмещающим породам (согласное или несогласное). Второй поисковой задачей следует считать установление псевдосгратификации с внимательным изучением нижних зон, и третьей задачей — поиски внутри интрузива обычно на основе геологической съемки. При этом также необходимо обследовать вмещающие породы в пределах ближайших к интрузиву участков на десятки и первые сотни метров, куда проникают инъекции и гидротермальные жилы.

Главная масса рудных месторождений магматогенного 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, т. е. взаимосвязь оруденения с теми или иными фациями магматических пород.

Обычно выделяются четыре группы фаций: 1) вулканические и явно связанные с ними субвулканические тела; 2) тела гипабиссальных пород, к числу которых относятся также малые интрузии; 3) интрузивные тела средних глубин; 4) абиссальные интрузивы, чаще всего докембрийские.

Существуют все переходы между интрузиями средних глубин, гипабиссальными интрузиями и эффузивными породами.

Несмотря на трудность решения вопроса о глубинности интрузий, поисковая практика обязывает внимательно изучать этот вопрос, так как он имеет очень большое значение для оценки районов.

Можно утверждать, что с «малыми» интрузиями связано подавляющее большинство полиметаллических месторождений мира, значительная часть золоторудных, некоторые медные (меднопорфировые), часть месторождений олова и некоторые другие.

С нормальными гранитоидными батолитами связано большинство месторождений вольфрама жильного и скарнового типа, почти все рудоносные пегматиты (с биотитовыми гранитами), многие оловянные месторождения кварцево-касситеритовой формации, значительная часть золоторудных и молибденовых месторождений, а также медные месторождения жильного и скарнового типа и некоторые не перечисленные здесь типы рудных месторождений.

При поисках в некоторых районах полезно учитывать эмпирическую схему В. Эммонса (рис. 4), который считает, что в породах кровли активного интрузива в пределах слоя в 1,5 км концентрируется главная масса постмагматических месторождений (более слабая минерализация распространяется до 3 км). Кроме того, само интрузивное тело имеет «минерализованную оболочку» той же мощности — около 1,5 км, в отдельных случаях до 3 км. Эта картина разнообразно отражается на соответствующих эрозионных срезях.

Со щелочными и щелочными ультраосновными интрузиями на территории СССР и во многих других

районах мира связан ряд металлогенических провинций, отчетливо проявляющихся на платформах и в меньшей мере в складчатых зонах.

Ведущее место среди щелочных интрузий принадлежит нефелиновым сиенитам — породам, которые сами часто используются как сырье на глинозем (с утилизацией всех отходов для производства поташа и цемента). Во многих местах к нефелиновым сиенитам приурочены ниобиевые месторождения, в которых обычно присутствуют ниобий, тантал, цирконий, титан, радиоактивные и редкоземельные элементы.

Во многих районах СССР к щелочным массивам тяготеют крупные карбонатитовые месторождения ниобия. С щелочными магмами предположительно связаны также месторождения флюорита.

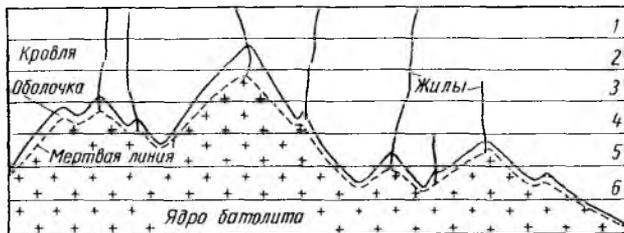


Рис. 4 Шесть стадий эрозии батолита (по В. Эммонсу)

Поиски сосредоточивают большей частью в пределах щелочных массивов, но в отдельных случаях и в зоне экзоконтакта (к этой зоне бывают приурочены месторождения циркона и пироклора).

Дайки и залежи изверженных пород имеют очень большое значение для изучения генезиса месторождений, деформационных структур, а также истории развития структур рудных полей и месторождений, а значит и для поисков. В подавляющем большинстве рудных полей мира они находятся в близкой пространственной связи с рудными телами. Дайки изверженных пород нередко совпадают в пространстве с рудными жилами, используя одни и те же системы трещин, порой унаследованные. Иногда дайки присутствуют в центре зональных серий руд. Многочисленные наблюдения дают основание предполагать, что руды и дайки часто являются дериватами одного и того же источника.

Изменения вмещающих пород должны рассматриваться как особый поисковый критерий. Это подтверждают работы последних лет, особенно на Рудном Алтае.

Изменения вмещающих пород происходят по весьма разнообразным причинам, часто не связанным с накоплением рудного вещества. Поэтому зоны изменений вмещающих пород (например, вызванные сольфатарно-фумарольной деятельностью) иногда не совпадают с месторождениями ни в пространстве, ни во времени. Тем не менее изменения вмещающих пород связаны преимущественно с постмагматическими явлениями.

Основное проявление гидротермальных изменений заключается в метасоматическом замещении гидротермами толщи пород вдоль каналов, по которым движутся растворы.

Контактовые и гидротермальные изменения вмещающих пород являются не только важным, но и сравнительно простым поисковым критерием, свидетельствующим о возможности нахождения руд. Этот критерий может быть легко использован в полевой обстановке, при отсутствии изверженных пород он становится незаменимым при поисках.

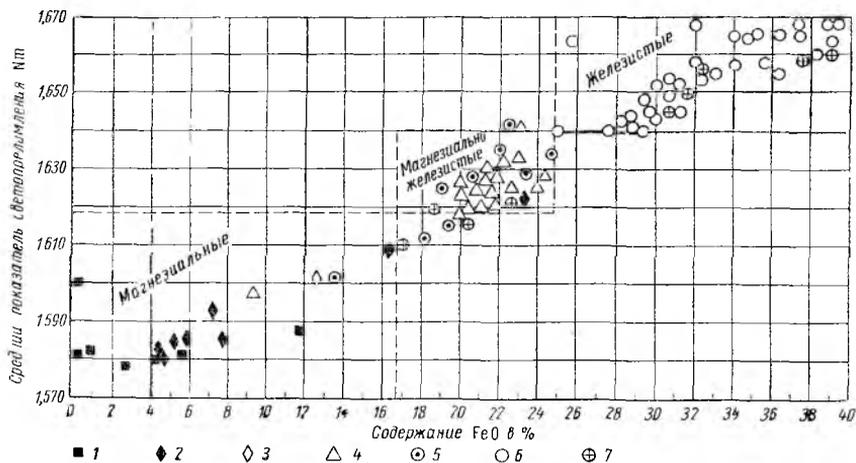


Рис. 5. Диаграмма распространения различных типов хлоритов в магматогенных месторождениях (по Д. М. Шилину и В. П. Ивановой)

1 — железорудные и хромитовые месторождения, 2 — свинцово-цинковые и медно-цинковые месторождения, 3 — медно-висмутовые месторождения, 4 — медные и медноколчеданные месторождения, 5 — месторождения пьрокварца, 6 — сульфидно-касситеритовые месторождения, 7 — золоторудные месторождения

Участки изменения боковых пород очень помогают при поисковых работах в том случае, если площадь измененных пород в 10—50 раз превосходит площадь самого рудного тела. В то же время слишком большие площади измененных пород (в сотни и тысячи раз больше площади рудных тел) не помогают поискам.

Часто наблюдается связь между составом минералов в измененных породах и типом месторождения. Для примера можно рассмотреть хлориты (рис. 5). По данным Д. М. Шилина и В. П. Ивановой, отчетливо выделяются три главные группы хлоритов, соответствующие: 1) сульфидно-касситеритовым, 2) медноколчеданным и 3) свинцово-цинковым месторождениям. Для колчеданных и полиметаллических месторождений характерна зональность измененных вмещающих пород, которую можно представить в следующем виде: руда → кварцево-серицито-хлоритовые породы → кварцево-хлоритовые породы → слабо измененные породы → неизмененные породы.

Геохимические критерии

Геохимические критерии, как следует из самого названия, связаны с поведением элементов в земной коре.

Эти критерии важны не только при поисках месторождений полезных ископаемых, но и в прогнозировании рудоносности крупных регионов. При поисках в первую очередь уточняются кларки различных пород для установления их местного фона.

Геохимические критерии помогают оценить перспективы рудоносности интрузивных, эффузивных, осадочных и метаморфических пород, пользуясь их химическим составом, а также составом подземных и проточных вод.

Можно считать практически доказанным, что многие элементы, давая повышенные содержания в различных породах, образуют обычно в тех же породах данного района месторождения соответствующих элементов или минералов. Накопилось много примеров в отношении поведения олова, меди, никеля, кобальта, редких и редкоземельных элементов. Н. И. Сафронов отмечает, что некоторые оловоносные интрузии обогащены оловом, бериллием и редкими землями при ничтожном содержании циркония и ниобия. Рудоносные (Ni, Cu) гипербазиты Кольского полуострова несут никель и серу при пониженном содержании в них меди и кобальта. Отмечаются пониженные содержания циркония и ниобия в золотоносных интрузивах. По особенностям распределения галлия выделяются платинопосные ультрабазиты.

А. А. Беус указывает, что с помощью математической обработки геохимических данных доказана во многих случаях связь по химическому составу между породами и рудами; например, метасоматически измененные редкометалльные граниты дают различные типы месторождений, характеризующиеся наличием концентраций бериллия, тантала, ниобия или иттриевых земель.

Весьма интересны элементы-спутники: распределение лития в гранитоидах позволяет выделить среди гранитов танталовые разности. Рубидий и цезий указывают нередко на наличие пегматитов, а мышьяк (реже Pb, Zn) — на наличие золоторудных месторождений. Кроме того, подобную ценную «информацию» дают акцессорные минералы: биотит, циркон, сфен и рутил, которые нередко концентрируют в себе повышенные содержания некоторых элементов, как бы указывая на целесообразность поисков в данном районе соответствующих месторождений. Так, наличие в биотите из гранитов тантала и ниобия говорит о связи с этими гранитами тантало-ниобиевых месторождений, а присутствие олова в биотите свидетельствует об оловоносности этих гранитов; если в кварце много лития, то граниты литиеносны.

Иногда повышенное содержание молибдена, ванадия, урана в осадочных породах указывает на приуроченность к последним одноименных месторождений. Особенно благоприятны повышенные кларки некоторых элементов в туфах, нередко содержащих соответствующие месторождения.

При геохимических исследованиях нужно пользоваться не только пробрами из коренных и рыхлых пород и протолочками из самих интрузивов, но и опробовать все их фации (включая жилы), а также автометаморфически измененные участки.

Следует иметь в виду, что зараженность района проявляется не только в высоком кларке какого-либо элемента и обогащенности им шлихов, но и в повышенном содержании этого элемента в различных месторождениях полезных ископаемых.

Многие геологи считают целесообразным в результате поисковых работ составлять специальные геохимические карты.

Геоморфологические критерии

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

Необычайно важен для планирования и проведения поисков вопрос о характере покрова четвертичных отложений. Здесь отчетливо фигурируют два типа районов: 1) открытые площади с корой выветривания или ее продуктами — элювий, делювий, пролювий; 2) закрытые площади, перекрытые сплошным чехлом дальнепривносных отложений аллювиального, ледникового, озерного, морского или эолового происхождения варьирующей мощности.

По отношению к рельефу 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 формировались в континентальных условиях, особенно кайнозойской эры и для них, очевидно, геоморфологические критерии имеют основное значение.

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 (см. ниже) дают в руки поисковика (еще до выезда в поле) ряд дополнительных надежных геоморфологических критериев.

Для того чтобы организовать поиски россыпей и других гипергенных 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 недостаточно. Для проведения эффективных поисков следует установить историю развития рельефа

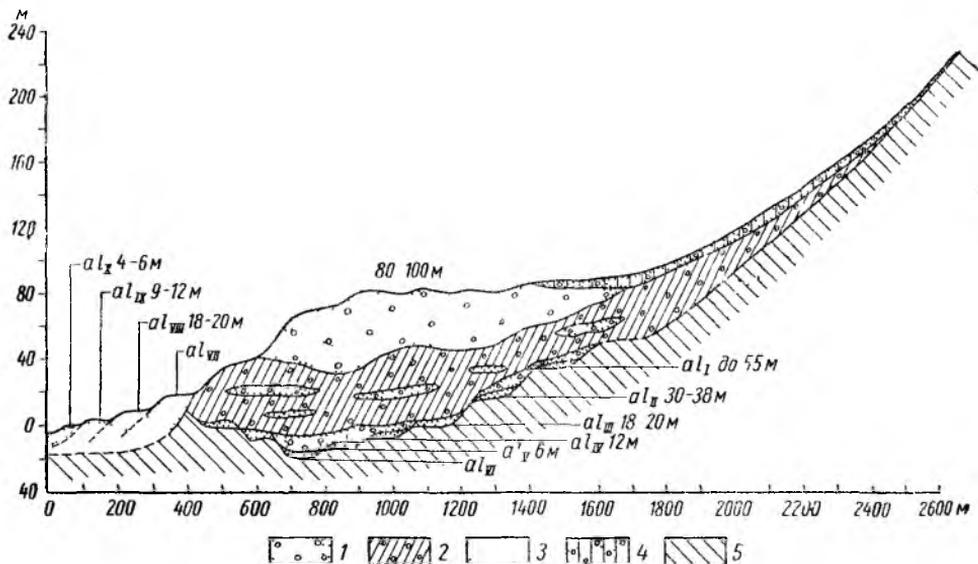


Рис. 6. Схема строения долин верхней и средней частей бассейна р. Жуи в Олекмо-Витимской горной стране (по В. Г. Лебедеву)

1 — флювиогляциальные и озерно-гляциальные отложения илы, пески, галечники и валуны, 2 — морские 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

В центре схемы — доледниковая погребенная эрозионная долина с серией золотоносных погребенных террас. В левой части схемы послеледниковая эрозионная долина, врезавшаяся в движущийся долины-трога, образованной при наложении деятельности ледника на эрозионную долину (доледниковую)

и формирования молодой рыхлой континентальной толщи и выяснить основную тенденцию в развитии рельефа за последнее время и в первую очередь областей поднятия и опускания.

Геоморфологические критерии на современном уровне знаний и опыта должны способствовать обнаружению не только обычных современных россыпей, но и значительно более сложных: террасовых россыпей высоких уровней и особенно древних долин, а также погребенных россыпей (рис. 6).

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 изучив характер ледникового рельефа, можно с определенной долей вероятности указать те или иные области и даже районы, перспективные для нахождения полезных ископаемых. Такие образования, как озы, камы, друмлины, — наиболее типичные формы для ландшафта основной морены, часто представляют собой скопления хорошего строительного материала.

В перигляциальных областях широко развиты песчаные заилованные равнины с хорошо отмытыми кварцевыми песками. Для зоны конечноморенных образований наиболее характерны впадины, заполненные глинистым материалом, и т. п.

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

При поисках гипогенных и метаморфогенных месторождений, формирование которых не зависит от рельефообразующих процессов, геоморфологические критерии также могут иметь 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, вдоль сбросов и контактов пород, или вследствие легкого разрушения гидротермальноизмененных боковых пород и рудных тел.

Геофизические критерии

Поскольку геологические поисковые критерии представляют собой факты, прямо или косвенно указывающие на возможность обнаружения в данных условиях полезного ископаемого, то значительное число геофизических аномалий и является поисковым критерием. Часто аномалии, выявленные «прямыми» методами, близки по степени вероятности к поисковому признаку.

Общеизвестно, что многие геофизические аномалии являются «ложными», т. е. вызываются не месторождениями (или структурами), а посторонними причинами, совершенно не связанными с оруденением. Поэтому в с е геофизические аномалии требуют геологической интерпретации, так как только она во многих случаях может правильно расшифровать их причину. Естественно, что геологически интерпретированные аномалии требуют проверки.

2. БЛАГОПРИЯТНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПОИСКАХ

Вопрос о благоприятных геологических обстановках особенно интересует поисковиков и геофизиков. Закономерности образования и размещения месторождений обусловлены многочисленными геологическими факторами, причем роль каждого фактора для различных типов месторождений бывает весьма различной.

Естественно, что поисковые критерии при полевых исследованиях используются обычно не в отдельности, а совместно. Кроме этого, уже и сейчас ясно, что список поисковых критериев нужно пополнять палеогеографическими и биоклиматическими критериями, критерием рельефа (тип рельефа) и др. Промышленные типы различных месторождений (см. выше), учитывающие свойственные им геолого-минералогические формации и вмещающие породы, как бы сами указывают, какие поисковые критерии могут быть использованы для обнаружения того или иного полезного ископаемого.

При поисках трудно ориентироваться на все вышеупомянутые промышленные типы, которых насчитывает около 150. а рационально искать целые группы месторождений, образующихся примерно в одних и тех же геологических условиях, например контакто-метасоматические месторождения различных металлов в определенной структурно-металлогенической зоне, или некоторые осадочные месторождения железа, марганца и алюминия определенной формации и т. д. Отсюда вытекает понятие о типичных геологических обстановках образования той или иной группы месторождений полезных ископаемых.

В основу выделения этих типичных геологических обстановок целесообразно положить тектонические факторы. Последние определяют характер осадочных и вулканогенных формаций, а также происхождение, состав и глубину формирования интрузивных пород. На основании классификации металлогенических зон земной коры выделяются 25 типичных геологических обстановок, проявляющихся в условиях платформ (8 обстановок), геосинклинальных систем (12 обстановок), глыбовых зон (3 обстановки) и в связи с ландшафтными факторами (2 обстановки), весьма различных по своей практической значимости (Крейтер и др., 1963). Конечно, нельзя считать выделенные 25 обстановок безусловными и тем более стабильными; в будущем их число, вероятно, изменится.

Сама идея выделения этих обстановок практически плодотворна, она позволяет каждому поисковику (геологу или геофизику) перед началом работы ориентировочно определить, какие полезные ископаемые можно ожидать в тех или иных геологических условиях.

В качестве примера приведем только «первую обстановку», встречающуюся на платформах: *зоны глубокометаморфизованных комплексов в пределах щитов (зоны архейской складчатости) в участках широкого распространения кислых магматических пород ультраабиссальной и абиссальной фауны.*

Для этой геологической обстановки весьма характерны гематит-магнетитовые месторождения (Сибирь, СССР; штаты Нью-Йорк, Нью-Джерси, США), нередко сопровождающиеся флогопитовой (Прибайкалье) и борной (людвигит) минерализацией, а также редкоземельные пегматиты с монацитом, ортитом и др. (Канада, Феноскандия, Ю. Африка). В этих же условиях встречаются золоторудные (Канада, Западная Австралия, Ю. Африка) и колчеданные (Канада) месторождения, а также осадочно-метаморфические месторождения железа, связанные с железистыми кварцитами, и марганца, ассоциированные с гондитами и кондуритами (Индия, Ю. Африка, Австралия).

Предварительно известная геологическая обстановка и поисковые признаки дают возможность до начала поисковых работ предугадать не только возможные в данных условиях промышленные типы месторождений полезных ископаемых, но и элементы-спутники и вообще весь ожидаемый комплекс полезных ископаемых. Все это позволяет определить для данной обстановки наиболее рациональный комплекс поисковых методов, что имеет исключительно важное значение для повышения эффективности поисковых работ.

3. ПОИСКОВЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

Поисковые геологические признаки свидетельствуют о несомненном наличии минерализации в районе. Это, например, рудные обломки, шлихи с рудными минералами и зоны колорудных изменений с развитием в них полезных минералов, не говоря уже об окисленных и выпалоченных выходах самих месторождений полезных ископаемых. Таким образом, к поисковым геологическим признакам относятся в первую очередь первичные и вторичные ореолы рассеяния как вмещающих пород и рудных минералов, так и элементов.

В общем виде можно сказать: свойства минералов определяют собой поисковые признаки (а следовательно, и поисковые методы — см. ниже).

На многочисленных примерах доказана зависимость между природными концентрациями металлов, т. е. рудными телами, и окружающими их ореолами незначительных, по все же повышенных концентраций этих металлов. В ореолах рассеяния месторождений содержание элементов часто возрастает в десятки и даже сотни раз против кларкового. Вот эти-то ореолы рассеяния правильнее всего относить к поисковым геологическим признакам, хотя обычно ореолы бывают невидимыми. Несомненно убедительнее и проще, когда ореол представлен видимыми рассеянными минералами.

Нужно иметь в виду, что не всегда легко провести границу между поисковыми критериями и поисковыми признаками — например, между геохимическими критериями и первичными ореолами рассеяния, так как между ними существуют всевозможные взаимопереходы.

Первичные ореолы рассеяния

Под первичными ореолами рассеяния полезных ископаемых подразумевается совокупность околорудных изменений и накоплений в рудовмещающих породах, связанных с концентрацией полезных элементов в процессе эндогенной и экзогенной минерализации. Вероятно, они сыграют важную роль, особенно для поисков скрытых месторождений. Первичные ореолы создаются по тем же законам концентрации элементов, которые установлены для эндогенных и экзогенных минеральных месторождений. При эндогенных процессах происходит не только образование рудных тел и иногда окружающей руды рассеянной полезной минерализации, но и разнообразные изменения боковых пород под действием гидротермальных растворов.

Интенсивность и масштабы концентрации руд и изменений боковых пород зависят в первую очередь от структуры вмещающих пород, т. е. от вида деформационных структур, характера контактов и типа самих вмещающих пород с точки зрения пористости, брекчированности, трещиноватости, текстуры и структуры, активности или инертности (например, в карбонатных породах ореолы бывают менее протяженные, чем в силикатных) и т. д.

Г. И. Россман на основании своих исследований, проведенных на Рудном Алтае, показал целесообразность разделения первичных ореолов в рудовмещающих породах на два типа: 1) диффузионные и 2) диффузионно-инфильтрационные. Если размеры диффузионных ореолов часто выражаются первыми метрами, то диффузионно-инфильтрационных, связанных с зонами повышенной проницаемости, измеряются десятками, сотнями и даже первыми тысячами метров и поэтому являются крайне ценными для поисковых работ.

В плане диффузионно-инфильтрационные ореолы нередко в два — четыре и даже пять раз превышают горизонтальную проекцию рудных тел. В однотипных структурах с увеличением массы металлов в рудной залежи обычно возрастает вертикальная амплитуда первичного ореола. При изучении первичных ореолов выяснено, что в надрудной толще можно выделять три зоны: внутреннюю, промежуточную и внешнюю, расположенные на различном расстоянии от рудного тела и характеризующиеся определенным комплексом элементов. На алтайских месторождениях во внешней зоне присутствуют Zn, Cu, Mo, Hg, As, Bi, F, во внутренней — Pb, Ag, Sb, Cd, In и Tl, в промежуточной — Ba. Но этот порядок нарушается для других геологических условий. На Иртышском месторождении ширина внутренней зоны равна примерно 70 м, внешней — менее 70 м, в продольном разрезе их размеры соответственно равны 3000 и 800—2000 м.

Наряду с основными рудными элементами в ореолах рассеяния столь же хорошо проявляются элементы, «родственные» первым, а также разнообразные элементы-спутники (индикаторы оруденения), которые присутствуют в сульфидах, силикатах, карбонатах. Количественные соотношения между всеми этими элементами сохраняются такие же, как в самом рудном теле. Ореолы элементов-спутников

часто значительно шире ореолов основных компонентов месторождений. Наблюдается прямая корреляционная связь между свинцом, цинком и серебром; мышьяком и барием; серебром, висмутом и медью; цинком, свинцом и висмутом; барием, стронцием, ртутью и медью; молибденом и медью и т. д.

А. А. Беус и другие исследователи выделяют две главные группы химических элементов-индикаторов: 1) литофильные элементы (перераспределяемые при метасоматозе) и 2) рудообразующие элементы и элементы-спутники. При оценке ореолов элементов первой группы целесообразно проводить изучение вертикальной зональности (руководствуясь распределением лития и особенно натрия и калия), проявляющейся, например, в образовании зон альбитазации и грейзенизации. Для поисков месторождений полезных ископаемых наиболее перспективны наблюдения за второй группой элементов, особенно за легкоподвижными (Hg, As, F и др.), которые накапливаются в верхних частях ореолов. Изучение первичных ореолов рассеяния в ближайшем будущем поможет в расшифровке и практическом использовании для поисков полезных ископаемых зональности рудоотложения и глубины эрозионного среза.

Н. И. Сафронов указывает, что широким и прозяженным первичным ореолам свойственны элементы, обладающие сходством с серой (Pb, Zn, Sn, Mo), а значительно меньшим по размерам ореолам — элементы, имеющие сходство с кислородом (Sn, W, Zr, Th).

Вертикальная зональность элементов-индикаторов, согласная с «обычным» рядом последовательности отложения элементов (Sn, W, Mo, As, Bi, Au, Cu, U, Ni, Co, Zn, Pb, Ba, Ag, Au, Sb, As, Hg, Tl), подчеркивается многими исследователями и ее нужно использовать для определения руд на глубине.

Установлено, что над серией различных металлических месторождений, в частности медноколчеданных, развиваются ртутные ореолы; ореолы мышьяка известны над ртутно-сурьмяными месторождениями; над многими полиметаллическими месторождениями отмечаются ореолы марганца и бора; над оловянными месторождениями в одних случаях известны ореолы сурьмы, а в других — ореолы германия (в топазах и аксинитах).

На Урале в последние годы найдено несколько медноколчеданных тел по первичным ореолам. Ореолы были установлены в альбитофирах на контакте их с основными эффузивами, в дальнейшем бурением были подсечены рудные тела, как это показано на схематическом разрезе (рис. 7).

Первичные ореолы рассеяния, возникающие при эндогенном процессе, вероятно, представляют собой суммарный эффект двух составляющих: сингенетической концентрации, свойственной вмещающим породам, и эпигенетического накопления, наложенного на вмещающие породы в процессе рудообразования.

Наряду с ореолами, возникающими в процессе эндогенного рудообразования, известны и экзогенные первичные ореолы рассеяния. Последние контролируются главным образом фацциально-литологи-

ческими и частично структурными факторами. Первичные ореолы экзогенного происхождения часто связаны с продуктивными горизонтами и характеризуются большой протяженностью по простиранию и падению (сотни метров и километры) и ограниченной — по мощности (метры, десятки метров).

Гидротермально измененные зоны являются как индикаторами оруденения, так и носителями первичных ореолов рассеяния. По сравнению с гидротермально измененными породами, первичные ореолы более тесно связаны с рудными залежами в пространстве и во времени.

Наблюдения за изменениями боковых пород могут быть широко использованы, особенно при поисках скрытых рудных тел.

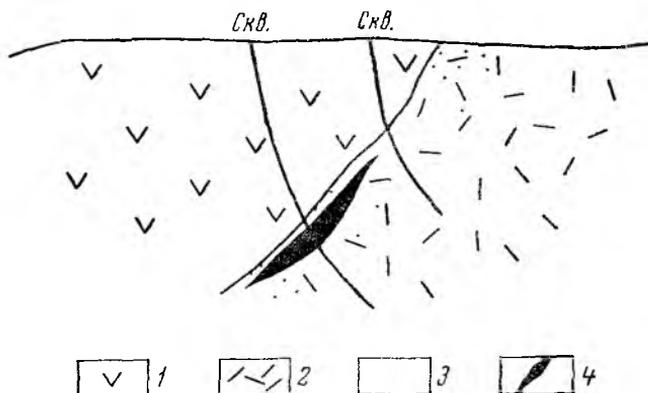


Рис. 7. Схема расположения медноколчеданного рудного тела и первичного ореола рассеяния

1 — порфириты, 2 — альбитофиры, 3 — первичный ореол рассеяния, 4 — рудное тело

Но нужно учитывать, что нередко гидротермально измененные породы непосредственно не связаны с рудным процессом, поэтому по значению они являются поисковыми критериями и только изредка могут служить поисковым признаком.

Вторичные ореолы рассеяния

Вторичные ореолы рассеяния, до сих пор имеющие наиболее важное практическое значение, создаются в экзогенных условиях. Иногда бывает трудно судить, какой из ореолов (первичный или вторичный) имеет место в данном случае, так как предполагается, что первичный ореол испытывает те же вторичные изменения, что и сами рудные тела; поэтому, вероятно, ореолы в зоне гипергенеза большей частью имеют смешанное происхождение.

Вторичные, обычно «невидимые», ореолы рассеяния (рис. 8) охватывают по сравнению с первичными предположительно почти

всегда значительно большие пространства благодаря более интенсивной миграции элементов в условиях коры выветривания и заражению окружающих пород, ранее содержавших эти элементы только в кларковых количествах. Отметим, что размеры вторичных ореолов в значительной мере зависят от степени эродированности месторождений; тем не менее крупным месторождениям нередко отвечают крупные вторичные ореолы.

Вторичные ореолы в зависимости от своей природы подразделяются на механические, соловые, биогеохимические, водные, газовые. Теоретической основой представлений об ореолах рассеяния являются законы геохимической миграции элементов в земной коре, главным образом законы поведения элементов в различных геологических и физико-географических условиях.

Сравнительно большой подвижностью в условиях гипергенеза обладают: медь, никель, кобальт, молибден, уран, радий, цинк и др. К этим элементам примыкают, с одной стороны, еще более подвижные, как, например, калий, натрий, кальций, магний и др., а с другой — слабо подвижные; железо (трехвалентное), титан, алюминий, цирконий, гафний, тантал, платина, золото, олово, вольфрам, ртуть и др.

Если сравнить эти три группы по миграционной способности, то группа элементов наибольшей подвижности характеризуется коэффициентом водной миграции * от 10 до 1, группа средней подвижности — от 1 до 0,1 и группа слабой подвижности от — 0,1 до 0,01. Забегая вперед, можно указать, что месторождения второй группы элементов надежнее и скорее обнаруживаются геохимическим, а третьей — шлиховым методами.

Образование вторичных ореолов рассеяния схематически можно представить так. В результате физического, химического и биогенного выветривания породы разрушаются. Атмосферные воды в виде потоков частично устремляются в пониженные участки, другая их часть проникает по трещинам и порам пород в горизонт грунтовых вод, третья, очень небольшая, поглощается корнями растений. Во всех трех направлениях элементы мигрируют в растворенном виде (в поверхностном потоке они также входят в состав тонкого ила и мелких обломков), обогащая ручьи и речки, грунтовые воды, горные породы, залегающие выше уровня грунтовых вод, и, наконец, ткани растений.

Кроме вышеописанных геохимических ореолов, существуют еще так называемые потоки рассеяния, под которыми понимаются как механические ореолы рассеяния, прослеживаемые обычно на песчаных отложениях рек, так и ореолы, связанные с сорбцией элементов и соединений тонкими глинистыми и илистыми фракциями речных отложений, нередко обогащенных солями металлов. Эти илито-глинистые отложения играют роль своеобразных фильтров.

* Коэффициент водной миграции, по А. И. Перельману, представляет собой частное от деления содержания данного элемента в минеральном остатке речной воды на его содержание в горных породах, дренируемых рекой.

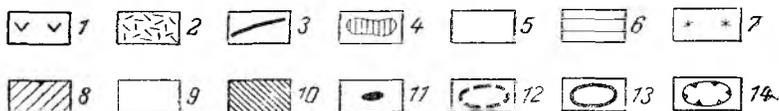
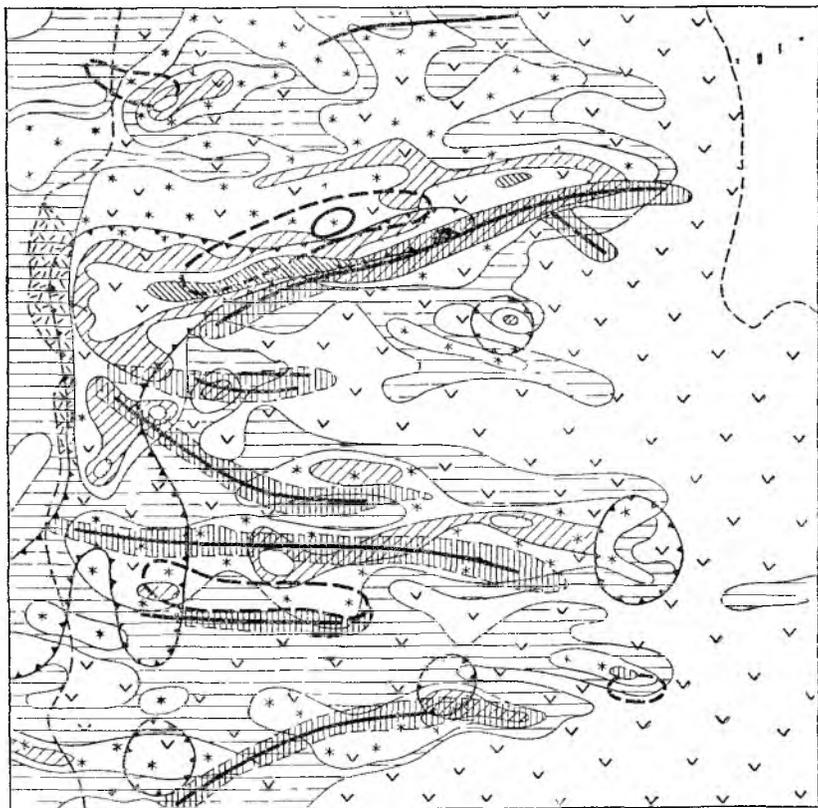


Рис. 8. Элювиально-делювиальные ореолы зон окисления Pb, Zn и Cu (по С. Д. Миллеру, Центральный Казахстан)

1 — плагиоклазовые, пироксен-плагноклазовые порфиры и их туфы, 2 — ортофиры, кварцевые порфиры и их туфы, интенсивно окварцованные, 3 — кварцевые жилы, 4 — зоны окварцевания, 5 — делювиальные отложения.

Содержание Pb в %: 6 — от 0,01 до 0,02; 7 — от 0,02 до 0,04; 8 — от 0,04 до 0,07; 9 — от 0,07 до 0,15; 10 — от 0,15 до 0,3; 11 — от 0,3 до 2,5. Содержание Zn в %: 12 — от 0,07 до 0,15; 13 — от 0,15 до 0,3. Содержание Cu в %: 14 — от 0,07 до 0,15.

задерживающих растворенные в воде соли. Тонкие глинистые и илистые фракции речных отложений можно исследовать как на присутствие более подвижных металлов (солевые ореолы и сорбция), так и с целью обнаружения устойчивых минералов (механические ореолы). В этих потоках металлы в повышенных количествах отмечаются на расстоянии до нескольких километров от месторождений.

Минералы механических ореолов рассеяния, расположенных в нескольких километрах от месторождения, скапливаются в аллювии; вблизи от месторождения рудные минералы концентрируются в делювии, а на самом месторождении остаются в элювии. Эти механические ореолы создаются теми минералами, которые образуют россыши: золотом, платиной, алмазами, касситеритом, ильменитом, монацитом, цирконом, вольфрамитом и некоторыми другими.

Трактовка вторичных ореолов должна быть принята самая широкая: от рудных обломков и ледниковых валунов до ореолов рассеяния в растительных организмах. Именно в таком виде вторичные ореолы являются основой большинства современных поисковых методов.

Для полного представления о вторичных ореолах едва ли не самой важной проблемой является изучение коры выветривания, представляющей собой выходящие на поверхность породы (и связанные с ними полезные ископаемые), измененные длительным совместным воздействием грунтовых вод, атмосферных агентов, почвенного воздуха и организмов.

Изучение современных процессов выветривания позволяют понять более интересные для наших целей древние процессы, создавшие древние коры выветривания. Эти коры выветривания * мощностью (в пределах СССР) от 60 до 200 м широко распространены на Украине, Урале, в Казахстане (как и на всех континентах, особенно в Африке), имеют своеобразный минеральный состав и текстуру, приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам (от девонских до четвертичных) и генетически связаны с платформенными стадиями развития земной коры, т. е. коры выветривания представляют собой геологическую формацию. Отличительной чертой этой формации является вертикальная зональность минерального состава и строения, отсутствующая в породах другого генезиса.

Широко известные зоны окисления и обеления обычно представляют собой разновидности коры выветривания. Зоны окисления сульфидных месторождений нужно рассматривать как частный случай коры выветривания. Для образования мощной коры выветривания с хорошо проработанными зонами необходимо, чтобы поверхность суши была в состоянии пепелена и чтобы длительно существовали постоянные климатические условия (наиболее благоприятен влажный субтропический или тропический климат).

В вертикальном разрезе кора выветривания изменяется как по химическому, так и по минеральному составу (табл. 15).

Весьма важно подчеркнуть, что является доказанным присутствие в коре выветривания 48 элементов, из которых 34 образуют заметные, а иногда и очень крупные концентрации, например железо, никель, кобальт и др.

Иногда кора выветривания является перекрытой. В коре выветривания рудные элементы концентрируются преимущественно в классах

* Излагается по данным И. И. Гинзбурга.

Зоны коры выветривания (сверху вниз)
По И. И. Гинзбургу

По процессам	По минералообразованию	По морфологии и цвету
1. Зона конечного окисления и конечного гидролиза	Зона железняковых охр (иногда гиббсита)	Зона рыхлая, оолитовая, бурая, красная, обеленная (конечные продукты выветривания)
2. Зона гидролиза, конечного выщелачивания и начального окисления	Зона каолинов, бейделлитов, повитронитов, монтмориллонитов (иногда гиббсита)	Зона глинистая, пятнистая, зеленая (промежуточные продукты выветривания)
3. Зона выщелачивания, начального гидролиза и конечной гидратации силикатов	Зона тех же минералов, что и в предыдущей, а также гидрослюд, реже гидрохлоритов (иногда карбонатов и опала)	Зона разложения, глинистая (промежуточные продукты выветривания)
4. Зона гидратации силикатов и дезинтеграции	Зона гидрослюд, гидрохлоритов, а также серпичгов и хлоритов (иногда магнезитов)	Зона просачивания, щебенистая, дресвянистая, сапролитовая (начальные продукты выветривания)

0,001—0,01 мм. В период формирования коры частично выпадает Cu, Pb, Zn, Mo, As, U, Ag, V и другие, поэтому в каолиновой части коры, естественно, ореолы указанных элементов ослаблены. По данным А. П. Соловова, максимальное распространение площадные погребенные ореолы имеют на уровне пестроцветной, в основном гидрослюдистой, коры. В нижней части щебенистой коры вторичные ореолы сужены и постепенно переходят в первичные. В перекрывающих кору породах ореолы не прослеживаются. Вторичные ореолы имеют площадь в 10—20 раз превышающую площадь коренного месторождения. Эти ореолы устойчиво сохраняются в коре даже при ее мощности около 100 м. Вторичные ореолы частично проявляются в перекрывающие породы путем гидро- и биопроцессов, но не более чем на 1—2 м.

Таким образом, ореолы образуются не только в коре выветривания, но и в толще перекрывающих пород, и если последние меньше «критической мощности», то ореолы выступают на поверхность. Понятие «критическая мощность» ввел Ю. В. Шарков. Он указывает, используя главным образом опыт геохимических работ в Казахстане и на Урале, что в степной полосе с черноземом критическая мощность не выше 3,0—3,5 м, в полупустынных районах 1,5—2,0 м, в таежных 2,0—2,5 м, а самая минимальная 0,6 м.

Для практического использования весьма большое значение имеют вторичные ореолы рассеяния, проявляющиеся в почвах. Химический и минеральный состав почвообразующих пород и географическая обстановка процесса почвообразования определяют

содержание металлов в почвах. Выходы металлических месторождений под наносы вызывают резкое повышение содержания металлов в почвах.

К вторичным ореолам рассеяния относятся и газовые ореолы, концентрирующиеся в почвенном воздухе. Кроме различных углеводородов, для поисковых целей интересны ореолы газов, возникающие в результате распада радиоактивных элементов, т. е. ореолы радона, торона и особенно гелия, которые могут быть использованы при глубинных поисках, а также ртутные эманации, кислород, углекислый газ и др.

Наконец, к вторичным ореолам рассеяния относятся и биохимические ореолы, представляющие собой участки, в пределах которых растительность содержит повышенные количества металлов. Корневая система, кора, листья и ветви деревьев и травы концентрируют в себе полученные из почв повышенные количества различных элементов. По А. П. Виноградову, предельная глубина залегания рудных тел, элементы которых проявляются в растениях, составляет: для Cu 50 м, для Ni, Co, Cr 30 м, для Mo 3 м, для As 10 м, а в среднем 10—15 м. Этот автор отмечает, что в золах растений содержание металлов увеличивается по сравнению с почвообразующими породами в 100 раз и более, но уже десятикратное обогащение указывает на наличие явной аномалии.

Большое значение может иметь иногда растительность (деревья, травы), характерная для участков с теми или иными геологическими условиями, очень эффективно проявляющаяся на аэрофотоснимках.

Поисковые признаки негеологического характера

К этой группе относятся в первую очередь историко-археологические данные. Особенно интересны материалы археологических раскопок (посуда, монеты, оружие), прямо или косвенно указывающие на наличие в районе тех или иных металлических руд. Безусловную ценность представляют находки орудий производства: молотков, клиньев, а также светильников и др. Очень часто встречаются различные выработки, отвалы горных разработок, отвалы шлаков и реже остатки примитивных обогащательных устройств.

Заслуживают внимания названия местностей, рек, долин на языке местных народов: «Свинцовый сай», «Оловянная река», «Угольное урочище» и т. д.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ

1. ГРУППИРОВКА МЕТОДОВ ПОИСКОВ

Геологические наблюдения и их анализ, отраженные на геологических картах (а также тектонических, геоморфологических и т. п.), являются ведущей основой поисковых работ. К сожалению, геологические съемки и выявляемые при этих работах геологические поисковые критерии часто дают слишком общее представление о районе и намечают слишком обширные площади, на которых может быть обнаружено месторождение того или иного полезного ископаемого.

Это обстоятельство требует применения различных поисковых методов на основе геологической карты.

Геологическая съемка и поиски взаимозависимы, хотя и не являются единой операцией; их целесообразно рассматривать и планировать отдельно.

В настоящее время применяются следующие поисковые методы (не считая составления геологической карты).

1. Наземные геолого-минералогические — обломочно-речной, вулканно-ледниковый, шлиховой.

2. Геохимические — металлотметрическая, гидрогеохимическая, манационная, газовая, биогеохимическая и геоботаническая съемки.

3. Аэрометоды — аэровизуальные наблюдения и аэрофотосъемка, сопровождаемая геологическим дешифрированием. аэроагнитная съемка, аэрогаммасъемка, аэроэлектросъемка, комплексная аэрогеофизическая съемка.

Комбинирование и комплексирование этих поисковых методов а основе той или иной геологической карты — это и есть современные поиски.

2. НАЗЕМНЫЕ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Обломочно-речной метод, достаточно четко сформулированный еще М. В. Ломоносовым, вероятно, является самым старым из поисковых приемов, но и теперь он может быть с успехом использован в слабо опоскованных районах. В 20—30-х годах в СССР с помощью этого метода был открыт ряд месторождений.

Обломочно-речной метод практически состоит в нахождении и прослеживании рудоносных обломков (например, золотоносного кварца), а также обломков характерных вмещающих пород. Степень окатанности обломков ориентирует в вопросе о дальности их приноса. При обнаружении в русле или на берегу речки рудных обломков или гальки вверх по течению речки прокладывается поисковый маршрут. При этом по ходу маршрута рудные обломки обычно встречаются все чаще и чаще, а степень окатанности их постепенно уменьшается. Исчезновение обломков в аллювии говорит о том, что в данном месте рудные обломки поступают со склона из делювия. Дальнейшие поиски ведутся уже на склоне с учетом формы обломочного веера (рис. 9), а каналы и мелкие шурфы прокладываются вблизи (обычно несколько выше по склону) последних верхних обломков.

Иногда поисковые маршруты идут не по реке, а вкрест простиранья пород или даже примерно по одной горизонтали вокруг сопки, если необходимо искать рудные свалы у ее подножия.

Валуно-ледниковый метод с успехом применялся только в северных странах. Этим методом найдены ценные промышленные месторождения в Финляндии, Швеции, Северной Америке и на Кольском полуострове в СССР. В этих районах коренные породы почти повсеместно покрыты плащом ледниковых отложений, иногда достигающих десятков метров мощности. При поисках приходится пользоваться материалом ледниковых отложений, в частности ледниковыми валунами.

Направление движения ледника (обычно самым важным является последнее движение) определяется по шрамам (штрихам), с ориентировкой которых совпадает направление переноса валунов, а последнее в свою очередь зависит от направления понижения рельефа (рис. 10). Некоторые указания на направление транспортировки валунов может дать ориентировка конечных морен, озов и друмлинов.

При движении ледников коренные породы истираются, вынашиваются, шлифуются, и весь материал, включая рудный, нередко перемещается на значительные расстояния, иногда рассеивается. Размеры площади, на которой рассеиваются валуны, зависит от многих причин; иногда валуны уносятся от коренного месторождения на многие десятки и даже сотни километров.

Рассеивание валунов образует в т о р и ч ь и й о р е о л р а с с е я н и я, связанный с ледниковой эрозией. Часто четкий конус рассеяния прослеживается на расстоянии примерно 20 км, а дальше его границы расширяются и затушевываются. Известен случай (в Швеции), когда это расстояние достигало 126 км.

С поисковой точки зрения наибольшую ценность представляют валуны из допных морен, особенно близких по составу к породам, на которых они залегают.

Практически поиски по валуно-ледниковому методу начинаются с момента обнаружения первых валунов-указателей. Эти

валуны могут быть найдены в результате систематических поисков, но нередко они встречаются случайно местными жителями или при рытье каналов и проведении дорог. Поисковая задача ясна: после обнаружения первого рудного валуна-указателя отыскать источник сноса рудных обломков и совместно встречаемых с ними пород.

Поиски валунов следует вести только в пределах основной морены, опираясь на карту четвертичных отложений масштаба 1 : 50 000 или крупнее. При этом наибольшее внимание

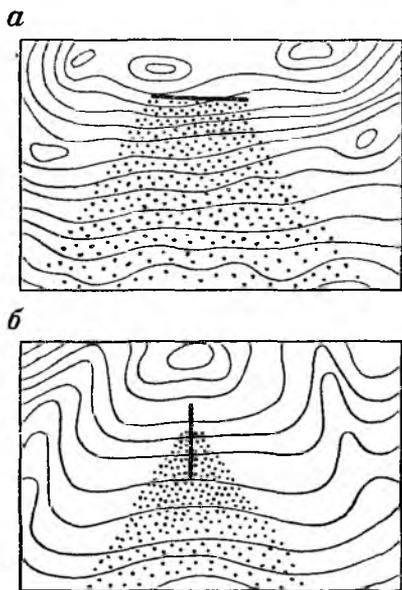


Рис. 9. Расположение рудных обломков на поверхности

а — при простирании жилы вдоль склона горы, б — при простирании жилы поперек склона горы

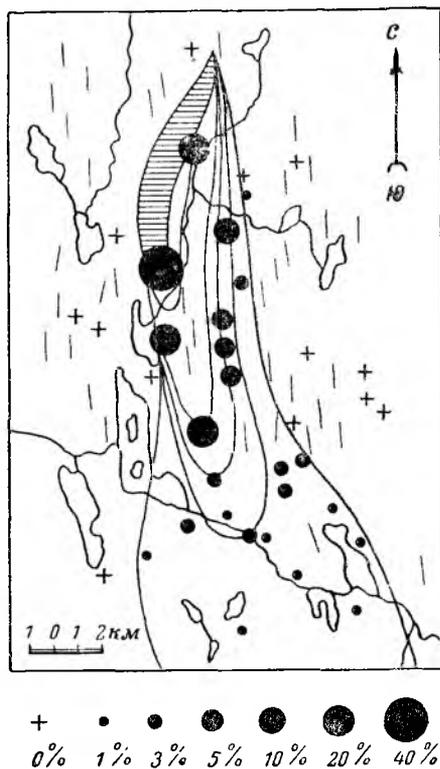


Рис. 10. Изображение валунного веера и результатов подсчета валунов (в %) в пределах конуса их рассеивания (по Магнусону)

Горизонтальной штриховкой показаны коренные породы

лужно уделять нижним, не затронутым позднейшей эрозией и выветриванием, горизонтам морены. В этой морене обломки пород большей частью ориентированы по направлению движения ледника.

От коренного месторождения валуны часто расходятся в виде веера, расширяющегося в сторону движения ледника (рис. 11).

Нанесенная на карту схема распространения валунов должна дать возможность построить по ней валунный веер; вершина этого

веера укажет на площадь, наиболее перспективную для отыскания под ледниковыми отложениями коренного месторождения.

По существу на этом поиски собственно валунным методом заканчиваются, и нужно приступить сначала к геофизическим, а затем при благоприятных данных к проверочным буровым (иногда горным) работам.

Шлиховой метод заключается в обнаружении, а затем постепенном прослеживании полезных минералов в шлихах. Шлихи получаются путем промывки аллювиального и делювиального материала (а также материала из протолок коренных пород), который через определенные интервалы отбирается вдоль долин рек и ручьев вплоть до того места, откуда он поступает, т. е. до коренного месторождения.

Можно назвать три основные задачи, которые решаются шлиховым методом: 1) обнаружение коренных месторождений различных полезных ископаемых; 2) выявление участков аллювия, делювия и элювия с повышенной концентрацией полезных минералов, т. е. поиски россыпных месторождений; 3) выяснение общей геологической и металлогенической характеристики района

(обычно за счет промывки протолок и дальнейшего изучения шлиха).

Шлихи, отражающие состав механических вторичных ореолов рассеяния, помогают восстановить картину разрушения, переноса и концентрации полезных минералов. Шлиховой способ применим для отыскания определенной группы полезных минералов с большим удельным весом и стойкостью, находящихся в тяжелой фракции рыхлых отложений. К этим минералам относятся: золото, платина (и минералы ее группы), касситерит, алмаз, вольфрамит, колумбит и танталит, ильменит, рутил, монацит, шеелит, киноварь и несколько реже самородный висмут и базобисмутит, галенит, хромит, камни-самоцветы, оптический и пьезокварц, корунд и многие другие непромышленные минералы. Из всех перечисленных минералов промышленные россыпи образуют первые десять.

Вблизи коренных выходов месторождений в шлихах отмечаются разнообразные минералы, в том числе нестойкие сульфиды. Следовательно, шлиховой способ бывает полезен для обнаружения даже некоторых сульфидных месторождений. С помощью шлихового

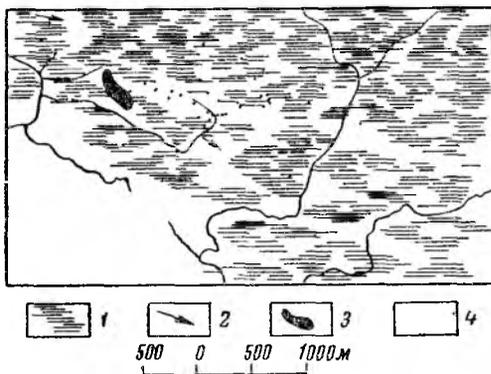


Рис. 11. Карта валунного веера

1 — болот, 2 — ледниковые штрихи, 3 — выход рудной залежи, 4 — рудные валуны

метода поисков в недавние годы открыты сотни оловянных месторождений и рудопроявлений в Сибири, в том числе все промышленные месторождения в Приморье и Хабаровском крае, алмазные месторождения на Сибирской платформе, месторождения киновари в Средней Азии и др.

Возможность применения шлихового метода зависит от многих условий: 1) стадии эрозионно-аккумулятивного цикла данной речной долины и ее уклона, 2) климата, 3) степени расчлененности рельефа, 4) крутизны склонов, 5) устойчивости и удельного веса рудного минерала и пр.

Шлиховой метод может широко применяться, начиная с обзорных поисково-съемочных работ масштаба 1 : 100 000 до детальных поисково-разведочных работ масштаба 1 : 1000, но задачи, решаемые этим методом, во всех случаях будут различными. При поисково-съемочных работах масштаба 1 : 200 000—1 : 100 000 (расстояние между пробами 0,5—1,0 км) шлиховой метод позволяет выделять наиболее перспективные площади путем составления шлиховых карт, а при детальных работах масштаба 1 : 10 000—1 : 5000 (расстояние между пробами 100—200 м) он обеспечивает обнаружение коренных и россыпных месторождений (или хотя бы помогает в их обнаружении). Ясно, что при детальных работах шлиховых опробований охватываются не только речки и ключи, но и лога и вообще все отрицательные формы рельефа, где имеются рыхлые отложения, причем часто проходятся шурфы, глубокие закоушки и буровые скважины. Нужно брать шлихи не только из аллювия, но и из элювиально-делювиальных отложений, особенно вблизи зон гидротермальных или контактовых изменений в коренных породах, а также на участках развития структур, благоприятных для локализации эндогенных месторождений.

При опробовании рек пробы нужно брать из отложений выше и ниже впадения притоков, чтобы установить роль каждого притока в накоплении шлиховых минералов в рыхлых отложениях, но это не исключает необходимости полного опробования и самих притоков.

М. И. Ициксон предлагает выделять только два ведущих типа гидрографической сети (рис. 12):

1) гидрографическую сеть (или ее участок, подлежащий опробованию), переживающую стадию оживления (в нее входят две зоны Ю. А. Билибина* — вторая и третья, т. е. зоны углубления

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

I. Фаза существования разработанной долины старого цикла эрозии.

II. Фаза углубления долины.

III. Фаза расширения долины.

IV. Фаза существования разработанной долины нового цикла эрозии.

Каждая фаза характеризуется определенным типом россыпей. Соединяя участки рек района, находящиеся в одной фазе, можно получить зоны с одиноким типом россыпей.

и расширения долин. или зоны вертикальной и горизонтальной эрозии). Все месторождения открываются именно здесь при достаточной сети опробования;

2) гидрографическую сеть, пребывающую в стадии зрелости (по Ю. А. Билибину это первая и четвертая зоны, т. е. зоны зрелых долин нового и старого циклов).

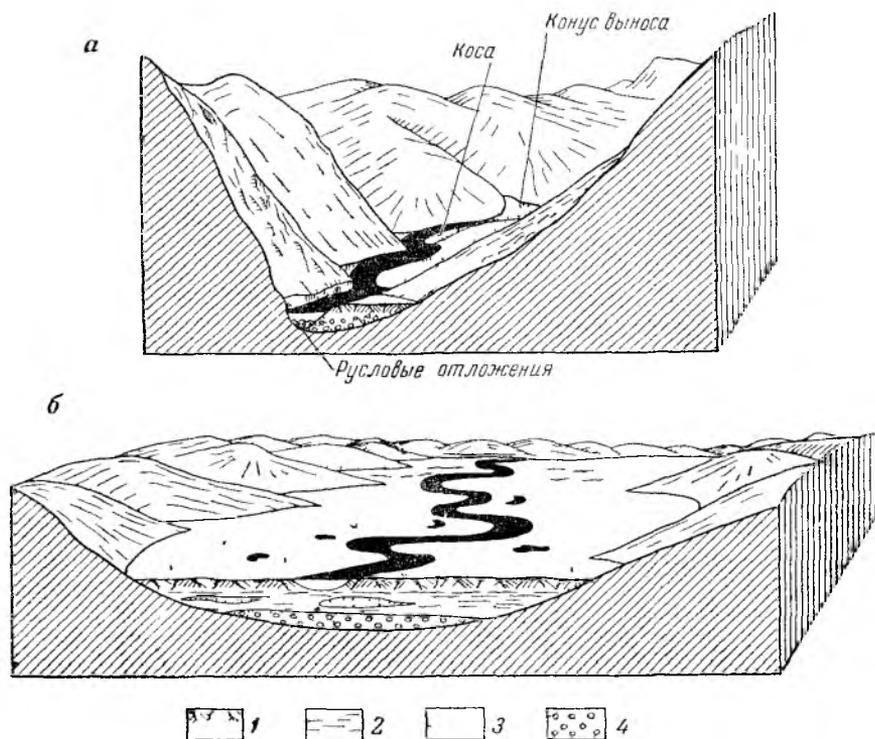


Рис. 12 Два типа гидрографической сети (по М. Н. Идикину)

a — в стадии оживления, *б* — в стадии зрелости
 1 — растительный слой (торф), 2 — глины и илы 3 — сортированный песок, 4 — галечники, неравномернозернистые пески гравий (рыхлый материал, подлежащий опробованию)

При опробовании речных русел в гидрографических сетях первого типа особое внимание обращается на время года, а также на количество и характер атмосферных осадков. В период большой весенней воды (паводка) проводить опробование почти бесполезно. Для шлихового опробования наиболее благоприятно время быстрого спада воды после ливней или половодья. В этот период русловые отложения и косы бывают обогащены тяжелыми шлиховыми минералами

В пределах гидрографической сети второго типа опробовать следует обрывы у днища оврагов и промоин. Опробуются щебень

и материалы из-под вывороченных деревьев, выбросы из нор, иногда просто материал из-под дерна. Но больше всего при поисках в пределах одряхлевшей гидрографической сети приходится опираться на глубокие закопашки и шурфы (или скважины), закладываемые по линиям поперек широких долин.

При шлиховых работах нужно считать аксиомой необходимость взятия проб в местах максимального скопления тяжелой фракции: на косах, заторах, расширениях рек и т. д.

Очень важны те места, где аллювий долин выходит на дневную поверхность выше уровня воды в реке, и особенно места, где вскрыты прилощиковые и приплотиковые участки. На таких участках имеется возможность опробовать отложения долины без производства шурфовых работ и в то же время определить количественное содержание компонента, близкое к истинному. Опробование приплотиковых боргов речных долин дает более ценный материал, чем опробование кос.

Особое значение имеет опробование террасовых отложений, которые нужно использовать для поисков россыпных месторождений.

При детальных поисковых работах необходимо регулярно проверять делювий склонов. Особенно внимательно нужно относиться к участкам, примыкающим к тем интервалам рек, где в шлиховых пробах установлено наличие полезных ископаемых. К этим площадям иногда приурочены выходы коренных месторождений (рис. 13).

При исследовании делювия по склону через интервалы 50—200 м в зависимости от масштаба работ берутся шлиховые пробы из закопашек, расположенных в 10—20 м друг от друга по простиранию склона. Практически закопашки делают глубиной не свыше 0,6—0,8 м (иначе работа обходится дорого, кроме того, полезные минералы в делювии часто расположены вблизи от поверхности). Рисунок 14 хорошо иллюстрирует рабочую схему поисков делювиального веера.

Минералы в зависимости от формы и размера зерен переносятся речным потоком двумя способами: 1) во взвешенном состоянии и 2) путем волочения и перекатывания в донных аллювиальных отложениях. Очень мелкие зерна, несмотря на значительные расстояния транспортировки, весьма «упорно» сохраняют свою первоначальную форму и не поддаются окатыванию. Крупный же материал, перенесенный даже на небольшое расстояние, обычно бывает раздроблен и окатан. Частицы золота обминаются, окатываются и сплющиваются. Касситерит дробится, теряет свои кристаллические очертания и сильно окатывается. Промышленные россыли касситерита обычно встречаются не далее чем в 5—6 км от коренного источника, очень редко это расстояние достигает 15 км, чаще же оно составляет 2—3 км. Монацит слабо дробится, но сильно поддается окатыванию, образуя характерные сплюснутые лешенкообразные зерна. Вольфрамит вследствие совершенной спайности быстро перетирается, дробится и труднее поддается окатыванию; в 6—8 км от коренного месторождения признаки вольфрамита

в аллювии исчезают. Шеелит ведет себя примерно аналогично касситериту, но быстрее окатывается. Промышленные россыпи шеелита неизвестны.

Нужно учитывать весьма различную дальность переноса минералов-спутников алмаза (пироп, пикроильменит и хромдиопсид) и тот несомненный факт, что алмаз переносится дальше всех других минералов — на десятки километров.

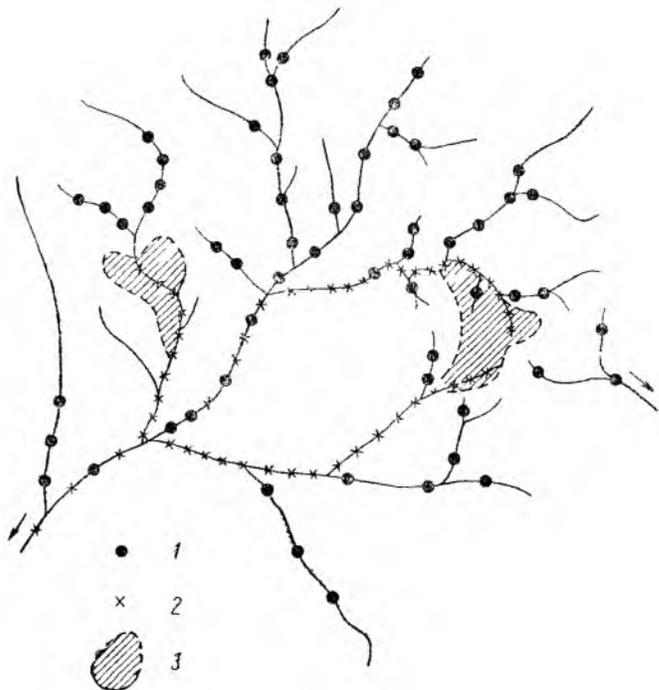


Рис. 13. Выявленные участки возможного нахождения делювиальных россыпей (по Д. В. Воскресенскому)

1 — пустые пробы, 2 — пробы, содержащие полезные минералы в шлихах, 3 — площади, к которым приурочены коренные месторождения полезных ископаемых

Облик некоторых минералов в шлихе иногда дает возможность грубо определить генетический тип разрушаемого коренного месторождения, а порой даже его масштаб, что очень важно для поисков. Например, при полевой работе достаточно различать два типа касситерита: 1) касситерит месторождений сульфидной формации с развитыми вытянутыми призматическими гранями и остропирамидальными вершинами кристаллов и 2) касситерит пегматит-пневматолитовых месторождений в виде укороченных кристаллов со значительным развитием граней пирамид.

Цирконы из гранитов (аксессуарные) встречаются в шлихе в виде мелких прозрачных бесцветных вытянутых призматических

зерен с пирамидальными вершинами. Буровато-розовые более крупные и менее прозрачные разности происходят из пегматитов, дипирамидальные из щелочных пород и т. п.

Корунды из плагиоклазитов и марундитов, по данным К. Н. Озерова, имеют пирамидальный облик. Корунд из кианито-корундовых пород характеризуется толстотаблитчатой формой. Однако проблема формы кристаллов для поисковых оценок еще слабо разработана.

Кроме формы кристаллов, имеют значение цвет, ассоциации и химический состав минералов. Например, о генетическом типе касситерита можно судить по примеси тангала и ниобия: касситериты пегматитов обогащены этими элементами, а в касситеритах сульфидно-касситеритового типа они отсутствуют.

Иногда встречаются настолько выдержанные ассоциации минералов, что даже при отсутствии полезных минералов в шлихе этими ассоциациями можно руководствоваться в процессе поисковой работы.

При взятии шлиха должно быть зафиксировано место отбора пробы и дана его геоморфологическая характеристика (русло реки, коса, терраса, дютики и т. д.). Должен быть также описан состав рыхлых отложений, как это делается при разведке россышей. Требуется учета и величина пробы, так как, зная исходный вес (ориентировочно 50—60 кг) или объем промываемой пробы, можно пересчитать количество шлиха и содержание ценных компонентов на кубометр или тонну рыхлых отложений. Для промывки можно пользоваться лотками, ковшами и небольшими бутарами с заранее установленным весом промываемых в них пород; последние удобны в стационарных условиях.

При обработке шлиха нужно соблюдать следующие правила:

- 1) труднопромываемые (сильно глинистые) пробы еще в первой стадии промывки освобождать от глинистого вещества отмучиванием;
- 2) для поисковых задач домывать шлих только до серого цвета, считая контрольным минералом гранат, остающийся в лотке;

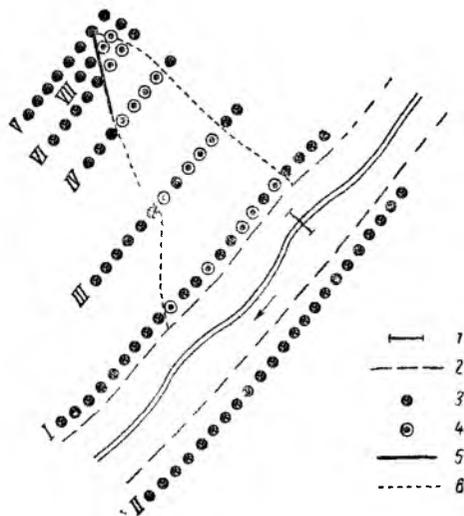


Рис. 14. Схема поисков делювиальной россыши и коренного месторождения (по Д. В. Воскресенскому)

1 — верхняя граница распространения полезных минералов в аллювии 2 — граница между аллювием и делювием, 3 — закопущки, 4 — закопущки, в которых встречены полезные минералы, 5 — коренное месторождение, 6 — границы делювиальной россыши. Римскими цифрами обозначены линии закопущек

3) не сильно прокалывать шлик при просушке.

Иной характер носит отбор проб и промывка алмазоносного материала по опыту поисков на Сибирской платформе. Здесь пробы берут объемом 0,005—0,01 м³, причем материал пробы состоит из мелкой гальки, гравия и песка (крупные обломки удаляются).



Рис. 15 Шлиховая карта в изолиниях (по Н. Н Трофимову)

1 — содержание пиритов от единичных знаков до 0,00001%, 2 — содержание пиритов от 0,00001 до 0,0001%, 3 — места отбора шлиховых проб, Au — единичные знаки золота

Отмывка этой пробы является весьма ответственным делом, так как важно, чтобы в хвосты не сносился пироп. После отмывки на месте работ производится просмотр шлика с подсчетом видимых в лотке знаков пирита (концентрация пирита в шликке определяет дальнейшее направление поисков). Одновременно со шлихованием ведутся геоморфологические и тектонические наблюдения.

При всех видах шлиховых поисков необходимо определять состав шлиха в поле, чтобы правильно выбрать дальнейшее направление поисковых маршрутов.

В число основных данных, определяемых в полевой шливовой лаборатории, кроме слисочного и количественного содержания полезных минералов, входят: 1) размеры зерен, 2) форма кристаллов, 3) цвет и блеск полезных минералов, 4) степень окатанности зерен, 5) наличие сростков и некоторые местные особенности минералов.

Результаты проведения шлиховых поисков оформляются в виде шлиховых карт, на которые наносятся данные анализа шлиховых проб. Шлиховые карты в зависимости от системы отбора проб бывают площадные, при более или менее равномерном распределении точек взятия проб по аллювию и делювию, и маршрутные, освещающие отдельные речные системы.

Практика составления шлиховых карт говорит о целесообразности занесения результатов:

- а) в виде изолиний содержания полезных минералов;
- б) в виде линий с изменяющейся толщиной, зависящей от количества полезного минерала. Эти линии проводятся вдоль речек путем соединения пунктов опробования с одинаковыми полезными минералами.

Для маршрутных карт удобнее линейное обозначение, которое дает ясное представление о направлении сноса минералов и об участках их максимального скопления. Площадные карты с изолиниями и заштрихованными площадями различных концентраций минералов вскрывают картину распределения вторичных ореолов рассеяния минералов (рис. 15). Карты, построенные по этому методу, достаточно выразительны только при незначительном числе полезных минералов.

Часто практикуется составление карт с кружками в пунктах взятия проб. Площади секторов в этих кружках показывают относительные количества шлиховых минералов.

3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Геохимические поиски проводятся на различных стадиях геологического изучения. Этими методами выявляются районы общей зараженности пород, т. е. районы повышенной концентрации тех или иных элементов в породах (геохимический критерий). Общая зараженность пород устанавливается на первых этапах геологического изучения, во всяком случае не позже предварительных поисков масштаба 1 : 200 000.

Участки повышенных содержаний называемые геохимическими аномалиями, нуждаются в геологической интерпретации и оценке, так как только часть этих аномалий оказывается ореолами рассеяния, связанными с месторождениями полезных ископаемых. Отбраковка аномалий, представляющих собой поля рассеяния, не содержащие рудных концентраций, требует хорошего знания геологии

района (т. е. наличия полноценной геологической карты) и промышленных типов месторождения.

Первичные ореолы рассеяния помогают обнаруживать и оценивать месторождения как выходящие на поверхность, так и слепые, главным образом в процессе детальных работ.

Размеры первичных ореолов рассеяния, как правило, во много раз больше размеров рудных тел всех изученных генетических типов. Смысл работы заключается в опробовании коренных пород с целью оконтуривания в них первичных ореолов, размеры которых, например по вертикали над рудным телом, измеряются десятками и даже сотнями метров.

Обычно эти исследования проводятся на всех стадиях детальных работ от поисково-разведочной до эксплуатационной разведки. Они проводятся главным образом для выявления слепых (иногда пропущенных между скважинами и горными выработками) рудных тел со следующими расстояниями, принятыми в настоящее время для поисково-разведочной стадии на гидротермальных месторождениях: между профилями 500—200 м и пунктами опробования 40—20 м. В разведочной стадии величина интервалов принимается в соответствии с проектом. Все горные выработки и скважины опробуются через 3—5 м, если нужно детальнее (около трещин и т. п.), то пробы берутся в виде штуфов-сколов через 0,5 м. Отбор проб производится в процессе документации выработок и керн скважин.

При предварительных исследованиях проводятся специальные опытно-методические работы, имеющие целью получить данные об интенсивности, форме и размерах ореолов, их зональности и особенно для выявления элементов-индикаторов. После этих работ окончательно устанавливается список определяемых в каждой пробе компонентов.

При установлении веса проб нужно учитывать возможность применения вытяжек или необходимость использования проб увеличенного веса, например для определения золота.

В последние годы опубликованы ценные материалы по первичным ореолам, которые усиливают в руках поисковика ранее существовавшую методику обнаружения по этим ореолам скрытых главным образом эндогенных месторождений. Эти новые данные не решают проблему в общем виде, но кроме вскрытия местных закономерностей совершенствуют методику проведения подобных работ.

Проведенные исследования (Янишевский и др., 1963 г.) показали, что на свинцово-цинковых месторождениях в незначительном количестве присутствуют As, Cd, Cu, Ag, Sb, Bi, а на урановых — Pb и Mo. т. е. так называемые элементы-спутники, которые играют в данных исследованиях важную роль. Каждый спутник дает «свой» ореол, например As дает «шапку» выше рудного тела и т. д. Кроме того, на этих месторождениях изучалась морфология ореолов рассеяния и их связь с околорудными изменениями, состав и распределение концентраций элементов и особенно зональность строения ореолов.

Наряду с этим изучались структурные особенности и вмещающие породы месторождений. Месторождения по условиям залегания разделены на две группы: круто и пологопадающие. На всех месторождениях производились изучение и опробование естественных и искусственных обнажений, а также буровых скважин по профилям вкрест простирания рудных тел и зон с интервалом 40—50 м; при этом пробы брались точечным методом через 5 м. Вновь показано, что рудные ореолы окаймляют рудные тела либо локализуются вдоль рудоносных зон или в самих зонах. Для поисков скрытых рудных тел, кроме Pb и Zn, важны As и Sb, а для урановых, кроме U, — Pb и Mo. Все названные элементы являются прямыми индикаторами оруденения, так как в ореолах фигурируют те же элементы, что и в рудных телах.

На изученных месторождениях ореолы над рудными телами (для пологозалегающих тел — по простиранию) распространяются на 100—150 м, а над группой сближенных тел даже на 250—300 м; проникновение ореолов в стороны выражалось первыми десятками метров. Размеры ореолов находятся в прямой зависимости от концентрации этих элементов в рудном теле и их проникающей способности. Элементы в ореолах убывают к краевым частям и обнаруживают вертикальную зональность: отношение элементов, например Pb : Zn, увеличивается сверху вниз; особенно отчетливо это проявляется в надрудной части и подрудной. Все это можно использовать для оценки глубоких частей месторождений и его флангов. На горизонтах (например, нижних), где нет ореолов элементов-спутников, трудно ждать оруденения.

Гидротермально измененные породы являются благоприятной средой (высокая пористость) для развития в их пределах ореолов рассеяния.

Все это говорит о том, что кроме структурно-минералогических исследований, необходимо вести и геохимические и всегда проверять достоверность выбора элементов-спутников.

Совершенно иную роль играют вторичные ореолы рассеяния, на использовании которых основаны геологические методы поисков (обломочно-речной, валунно-ледниковый, шлиховой). Кроме того, на поисках и оценке вторичных ореолов построены различные виды геохимических методов: а) металлометрическое опробование потоков рассеяния, б) металлометрическая съемка по ореолам рассеяния, в) гидрогеохимический, г) газовый, д) биогеохимический, е) геоботанический. Применение перечисленных методов, естественно, дает эффект только в определенных геологических и географических условиях. Правильный выбор их и рациональное комплексирование с другими методами поисков и геологической съемкой возможны только при хорошем знании самих методов и условий их применения.

Сейчас металлометрическая съемка применима и для поисков золоторудных месторождений, характеризующихся химически связанным или тонкодисперсным золотом. Отбор проб производится

из гумусового горизонта с глубины 15—30 см, так же как и для других металлов. Этот прием особенно хорошо зарекомендовал себя при поисках масштаба 1 : 50 000 и крупнее.

Спектральный анализ проб на золото производится особым методом. Кроме золота, в пробе нужно определять Cu, Pb, Zn, Fe, Ag, Bi, Sb, As.

Результаты поисков геохимическими методами в огромной мере зависят от успехов самого спектрального анализа, который является ведущим методом, хотя существуют и другие способы быстрого и дешевого анализа — люминесцентный, микрохимический и др. Теперь широко распространен [массовый высокопроизводительный полуквантитативный спектральный анализ. Метод спектрального анализа непрерывно совершенствуется: если еще недавно некоторые элементы определялись очень грубо, то в настоящее время они устанавливаются со значительной точностью.

Металлометрическое опробование потоков рассеяния. Опробование потоков рассеяния (их длина 0,3—7,0 км) по существу представляет собой разновидность металлометрического метода поисков, но обычно применяется в начальный период при геологических съемках мелких масштабов. Опробуется на все металлы только тонкая фракция, т. е. глины, илы и пр. Эти породы адсорбируют катионы различных металлов и поэтому анализ их часто освещает металлогению района. В потоках рудное вещество находится в растворенном, механическом, солевом и сорбированном состоянии. В таежных районах длина потоков редко превышает несколько сотен метров, а в степных доходит до нескольких километров.

Металлометрическую съемку гидрографической сети целесообразно применять до использования всех других поисковых методов; она может проводиться при различных видах поисково-съемочных работ, но с наибольшим эффектом — при работах масштаба 1 : 200 000 и даже 1 : 500 000 (особенно в районах с хорошо развитой гидросетью). Этот метод подходит к опробованию почти всех металлов, даже тех, руды которых представлены устойчивыми минералами.

Пробы эти можно брать из любых участков аллювиальных отложений, но дальше от бортов долин (разубоживание со склонов), стараясь взять материал из одной какой-либо струи (например, в современном русле или по пойменным берегам и т. д.). Ориентировочная густота отбора проб из донных осадков при геологических съемках различного масштаба указана в табл. 16.

Опробование донных осадков (т. е. илесто-глинистых отложений) в потоках рассеяния позволяет дать предварительную оценку металлоносности плохо изученных горных районов, а также обобщенную оценку перспективных рудоносных районов с небольшой мощностью наносов, где описываемый метод обычно сопутствует геологической съемке. Применение этого метода может быть полезно даже при поисках на известных рудных полях.

При отборе проб из донных осадков нужно учитывать, что лучшими сорбентами являются растительные остатки, гумусовые вещества, глинистые минералы (особенно группы монтмориллонита, гидрослюд), коллоиды кремнезема и глинозема, гидроокислы железа и марганца, но отбор проб нужно производить только по одному из выбранных сорбентов.

Таблица 16

Рекомендуемая схема отбора проб из донных осадков

Масштабы геологической съемки	Шаг отбора проб в м	Наименьшая длина логов, подлежащих опробованию в км	Число точек на 1 кв. км опробуемой гидрографической сети	Среднее число точек на 1 км ² площади
1 : 200 000	800	0,8	1,25	1,7—2,1
1 : 100 000	400	0,4	2,5	4,0—5,0
1 : 50 000	200	0,2	5,0	8,5—14,0
1 : 25 000	100	0,1	10,0	18,0—32,0

Металлометрическую съемку гидрографической сети целесообразно сочетать с гидрохимическим методом поисков и особенно со шлиховым опробованием.

Метод опробования полоков рассеяния имеет ряд достоинств; он позволяет: 1) проследить солевые потоки рассеяния в руслах пересохших водотоков, 2) фиксировать тонкодисперсную форму рассеяния, не улавливаемую шлиховым опробованием, и 3) одновременно фиксировать механические и солевые потоки рассеяния.

Все полученные данные наносятся на геохимические карты, созданные на геологической основе. Геохимическое опробование потоков рассеяния дает наибольший эффект в районах с гидросетью, находящейся в стадии активной эрозионной деятельности. Особенно целесообразно изучать донные осадки в районах с разветвленной сетью пересыхающих речек и логов, где вследствие отсутствия воды невозможно применение шлихового и гидрохимического методов поисков.

Металлометрическая съемка по ореолам рассеяния. Такого рода съемка заключается в взятии проб весьма малого веса той или иной фракции (чаще всего почвенного слоя над элювиально-делювиальными отложениями) на глубине от первых сантиметров до 1 м при той или иной густоте и форме сети опробования на поверхности; в этих пробах стремятся установить присутствие элементов, которые образуют солевые ореолы рассеяния. Элементы, входящие в минералы механических ореолов, несравненно лучше улавливаются шлиховым методом поисков.

Применение металлометрической съемки по ореолам рассеяния, как и других геохимических методов, предназначается для прямых поисков металлических и некоторых неметаллических месторождений при глубине рыхлых отложений 2—3 м, редко 5—10 м. На площадях, закрытых дальнепринесенными отложениями (эоловыми,

ледниковыми аллювиальными), этот метод практически мало эффективен, и нужен отбор проб производить из специально пробуренных скважин. Металлометрические съемки применяются на всех стадиях поисков (от масштаба 1 : 1 000 000 до 1 : 1000), конечно, с изменением задач, особенно в части детализации не только границ ореолов, но даже самих рудных полей, месторождений и тел.

При поисках металлометрические профили ориентируются вкrest господствующего простираения структур с тенденцией сгущения сети опробования в перспективных участках.

В табл. 17 приведены сети опробования, рекомендуемые Инструкцией б. Министерства геологии и охраны недр СССР 1957 г.

В конкретных условиях, особенно после небольших местных экспериментальных работ, эти интервалы уточняются. В пробу берется обычно самый мелкий песчано-глинистый материал с глубины 15—30 см, обычно под почвенно-растительным слоем. Глубину эту желательно всегда на месте работ устанавливать экспериментально. Стандартный вес пробы 50 г, а в специальных случаях (вытяжка, пробы на золото и др.) доходит до 0,5—1,0 кг. Все дальнейшие операции по обработке проб аналогичны приемам при обычном опробовании.

Таблица 17

**Рекомендуемые сети
металлометрического опробования**

Масштаб	Расстояние между профилями	Расстояние между точками пробобора в м
1 : 1 000 000	12—8 км	100
1 : 500 000	6—4 »	100
1 : 200 000	2 »	100—50
1 : 100 000	1 »	100—50
1 : 50 000	0,5 »	50—40
1 : 25 000	250—200 м	40—20
1 : 10 000	100 »	20—10
1 : 5000	50 »	20—10
1 : 2000	20 »	10—5
1 : 1000	10 »	5

Металлометрическое опробование может быть различное: опробование почв, рыхлых отложений или, если применить еще более дробное деление, — опробование элювия, делювия, пролювия и т. д. Наличие глинистых осадков над эродированными выходами месторождений делает совершенно бесполезным взятие проб с поверхности; в этом случае металлометрические пробы должны быть взяты из специальных скважин, пересекающих глинистую толщу.

Здесь уместно привести данные Ю. В. Шаркова: при наносах мощностью 3 м и более вторичные ореолы на поверхности обычно уже не проявляются (при отсутствии влияния растений, капиллярного

подъема и т. п.) и поэтому выявление их возможно только до этих глубин; на больших глубинах нужно брать пробы из каких-то выработок. В зависимости от глубины рыхлого покрова можно районировать большие площади и указывать для них условия взятия металлометрических проб.

При опробовании почв можно руководствоваться следующей контрольной цифрой: не менее одного пункта взятия пробы на 1 см^2 карты, т. е. в масштабе $1 : 200\,000$ — один пункт на 4 км^2 , в масштабе $1 : 100\,000$ — один пункт на 1 км^2 , наконец в масштабе $1 : 50\,000$ — четыре пункта на 1 км^2 . Сеть опробования обычно бывает прямоугольная, реже квадратная.

Площадная (детальная) металлометрическая съемка должна грубо оконтурить рудные поля с ореолами рассеяния. В большинстве случаев ореолы рассеяния распространены на площадях, вытянутых в каком-либо одном направлении, хотя бывают площади изометричные в плане. Конфигурация этих ореолов зависит от геолого-географических условий. Для ряда металлогенических провинций, например для полиметаллической провинции Восточного Забайкалья, зарегистрирована суммарная протяженность ореолов над отдельными рудными телами, превышающая 1000 м при ширине, редко достигающей $200\text{—}300 \text{ м}$. Если имеется рудное поле, то ореолы от отдельных тел и месторождений обычно сливаются, образуя общую площадь до $10\text{—}40 \text{ км}^2$.

Металлометрическое опробование ведется обычно по п р я м о у г о л ь н о й сетке. Пункты взятия проб располагаются по линиям, ориентированным вкрест предполагаемой вытянутости ореола, а расстояние между пунктами по линиям берется обычно равным половине ширины предполагаемого ореола. Чем правильнее предположение исследователя о типе и масштабе месторождения, тем правильнее будет организовано геохимическое опробование. Это подтверждает целесообразность такой организации работ, когда геологическая съемка хотя бы немного опережает поиски.

Обычно площадная (детальная) металлометрическая съемка дает основание выделить площадь для съемок в масштабах $1 : 10\,000$ — $1 : 5000$, а иногда даже $1 : 2000$ — $1 : 1000$, для которых инструкция рекомендует применять сетки опробования: $25 \times 10 \text{ м}$, $50 \times 10 \text{ м}$ и $100 \times 20 \text{ м}$ в зависимости от промышленных типов месторождений и их размеров. Такие детальные работы обычно проводятся параллельно с крупномасштабной геологической съемкой и комплексными геофизическими работами (см. гл. IV).

Анализы первых металлометрических проб рекомендуется производить на Li, Be, B, F, P, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Sr, Zr, Nb, Ta, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, Ce, Y, W, Hg, Pb, Bi. В дальнейшем этот список уточняется (обычно уменьшается). Пробы нужно испытывать на магнитную восприимчивость (кашпаметрия), а затем обязательно подвергать спектральному анализу.

Содержание металлов в почвах определяется составом почвообразующих пород и физико-географической обстановкой.

В профиле почвы обычно встречаются два обогащенных горизонта: 1) верхний, гумусовый и 2) плевниальный, обычно располагающийся на глубине 70—70 см от поверхности (рис. 16).

Самый простой подход к опробованию почв заключается в следующем: предварительно во многих местах района проверяется содержание элементов в разрезе (пробы через 15—20 см) рыхлых отложений и устанавливается положение «продуктивного» горизонта, наиболее обогащенного металлами; из него в дальнейшем и берут пробы.

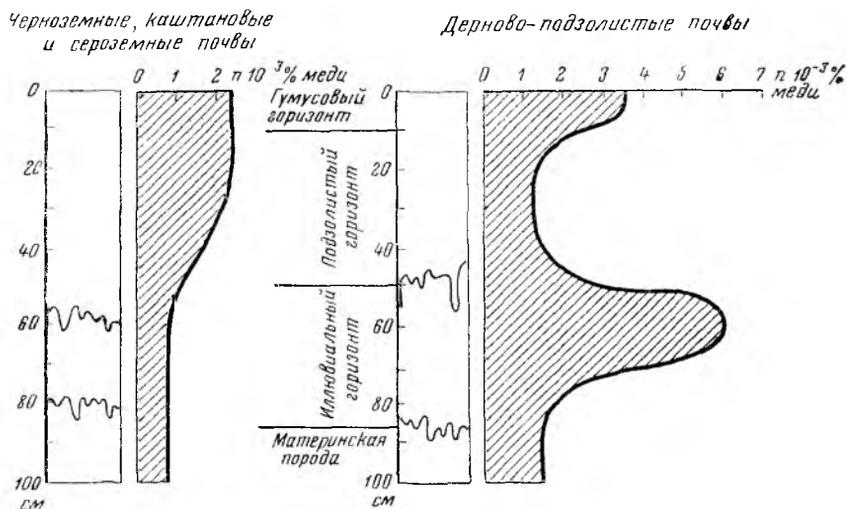


Рис. 16. Схема распределения меди по профилю почв различного типа

На основании соответствующих материалов А. И. Перельманом и Ю. В. Шарковым проведен опыт районирования территории СССР для целей геохимических поисков. Ими намечено выделение геохимических провинций, подпровинций, областей и районов на основе миграции и концентрации металлов в зоне гипергенеза в зависимости от геологического строения, рельефа, климата и т. п. Всего выделено пять провинций. Приведем в качестве примера две из них.

Первая провинция — нейтральных и щелочных почв и вод с преобладанием восстановительной среды (большая часть Средней Азии, Казахстана и других степных и пустынных районов). Для этой провинции характерна слабая миграция металлов, следовательно, металлотрические пробы здесь можно брать из поверхностных горизонтов почв.

Вторая провинция — кислых и нейтральных почв и вод с преобладанием окислительной среды (Карелия, Северный Урал, южные районы Дальнего Востока, таежные районы). В этой провинции во многих районах почвы кислые, сильно выщелоченные с поверх-

лости, в связи с чем металлометрические пробы нужно брать с глубины 0,5—1,0 м.

Гидрогеохимический метод поисков. Этот метод поисков рудных месторождений основан на изучении закономерностей в изменениях состава грунтовых вод под влиянием рудных тел. Он отличается от металлометрического метода, кроме большей глубинности, возможностью применения в специфических условиях, как-то: в увлажненных областях с обильными проявлениями подземных вод и разветвленной сетью поверхностных водотоков.

В настоящее время установлено, что гидрогеохимическим методом можно обнаружить урановые, молибденовые, цинковые и медные месторождения. Вероятно, в дальнейшем с помощью этого метода будет открыт и ряд других металлических месторождений, особенно легкомигрирующих элементов. Сейчас считается установленной возможность применения этого метода также для поисков полиметаллов, никеля, кобальта, ванадия, хрома, олова и золота. Во всяком случае ясно, что гидрогеохимический метод следует применять в комплексе с другими поисковыми методами и что он освещает большие глубины (так как подземные воды в процессе замедленного водообмена проникают в глубоко промываемые рудоносные структуры).

К числу неблагоприятных условий для применения гидрогеохимического метода относятся: 1) пустынные и полупустынные, 2) очень большое количество атмосферных осадков, 3) общая повышенная минерализация вод и 4) наличие многолетней мерзлоты.

Этот метод нужно применять при глубоких наносах — на площадях, перекрытых дальнепринесенными наносами, на платформенных территориях и площадях предгорных и межгорных депрессий, на предгорных равнинах, для поисков погребенных месторождений и т. д.

Характеристика подземных вод может служить или прямым, или косвенным признаком наличия в районе рудных месторождений. Прямым признаком является повышенное (по сравнению с фоном) содержание металлов в подземных водах. К косвенным признакам относятся: 1) повышенное содержание металлов-спутников; 2) повышенное содержание сульфат-иона (и повышенное отношение сульфат-иона к хлор-иону); 3) пониженное значение рН.

Если в районе исследований предполагается наличие рудных месторождений, то необходимо прежде всего в радиусе 1—2 км от намечаемого рудного тела установить содержание суммы металлов (по дитизону), молибдена, цинка, меди и сульфат-иона в поверхностных (включая болотные), грунтовых и трещинно-грунтовых водах, а также в водах более глубокой циркуляции. Эти данные очень важны для направления дальнейших гидрохимических поисков и правильной интерпретации данных.

Успешность применения описываемого гидрогеохимического метода поисков зависит от времени их проведения: в районах с избы-

точным увлажнением и большим количеством водоисточников нужно работать в наиболее сухое время года, а в районах с аридным климатом — в момент наиболее высокого стояния грунтовых вод.

Пробы воды отбираются из источников, эксплуатируемых колодцев, самоизливающихся скважин, шурфов, поверхностных водотоков и болот. При отсутствии водоисточников закладывают специальные шурфы. Объем пробы зависит от веса сухого остатка: например, при сухом остатке более 500 мг/л рекомендуется брать пробу объемом 0,1 л, при сухом остатке менее 100 мг/л — объемом 1,0 л.

Пункты обследованных водоисточников наносят на геологическую карту и проставляют около них данные анализа. После этого выделяют на карте участки с повышенным содержанием и широкой распространенностью того или иного компонента. Кроме того, составляют таблицы средних содержаний и распространенности различных элементов для района в целом и для вод, приуроченных к характерным геологическим формациям.

Газовый метод поисков. Этот метод основан на способности некоторых минеральных ассоциаций самостоятельно (радиоактивные и ртутные минералы) или при взаимодействии с некоторыми поверхностными агентами рассеиваться в рыхлых отложениях с выделением в почвенный воздух специфических газообразных продуктов. Газовые ореолы, образующиеся вокруг некоторых месторождений, относятся к числу вторичных ореолов рассеяния.

При поисках в зависимости от геологической обстановки в исследуемом районе разбивается сеть пунктов или профилей и в каждом пункте берется проба почвенного воздуха для определения в нем содержания радиоактивных газов, эманаций ртути или углеводородных газов (при поисках нефти и газа), CO_2 и O_2 (в зонах окисления рудных месторождений), и наконец, SO_3 и H_2S (при поисках серных месторождений).

Метод газовой съемки применяется при детальном поисках масштаба 1 : 25 000 и 1 : 50 000.

Эманационные поиски являются разновидностью газовой съемки. Продукты альфа-распада радиоактивных элементов — Ra, Th, Ac представляют собой инертные газы (радон, торон, актинон), обладающие различными скоростями распада и называемые радиоактивными эманациями; из них практически важен только радон.

Горные породы выделяют часть радиоактивных эманаций в окружающую их газообразную или жидкую среду; в частности, эти эманации концентрируются в почвенном воздухе. Содержание эманации в почвенном воздухе сравнивается с нормальным ее содержанием, которое колеблется от 0,1 до 10 эман.

Интерпретировать следует эманационные аномалии, т. е. резкие (не менее чем в три раза) превышения радиоактивности почвенного воздуха над нормальным фоном.

Главным условием применения описываемого метода является наличие в исследуемом районе наносов мощностью от 0,5 до 10 м (оптимальная мощность 1,5—2,0 м).

Помимо радиоактивного сырья, эманационный метод можно применять для поисков многих полезных ископаемых, содержащих небольшое количество радиоактивных минералов (литиевые, берилловые, ниобиевые, ильменитовые и монацитовые россыпи, фосфориты и т. д.). В районах, закрытых маломощными наносами, этот метод полезно использовать при геологических съемках для установления границ различных по радиоактивности пород, тектонических нарушений и др.

Биогеохимический метод поисков. Проведенные в Туве, на Южном Урале, на Кавказе, в Восточном Забайкалье и в других местах экспериментальные исследования и поиски на никель, медь, хром, свинец, молибден, золото и некоторые другие элементы подтвердили наличие корреляционной связи между содержанием (и соотношением) металлов в рудах и почвах, с одной стороны, и в растениях — с другой. Содержание меди, никеля, молибдена и прочих элементов в растениях, произрастающих в пределах ореолов рассеяния рудных месторождений, в десятки и даже сотни раз превышает обычное содержание этих элементов в почвах и растениях. Важное поисковое значение этого факта не вызывает сомнений.

Биогеохимический метод, так же как и многие другие, в значительной мере опирается на представления о вторичных ореолах рассеяния. Он основан на связи растительных организмов с питающей средой (рис. 17). В грубом приближении можно сказать: резко повышенное количество какого-либо элемента в золе растения указывает на его повышенное содержание в почве, а возможно, и в коренных породах, тем самым давая ключ к обнаружению соответствующего месторождения.

Для поисков месторождений биогеохимическим методом можно использовать любые растения, отдавая предпочтение тем, которые обладают более глубокой корневой системой. Чаще всего в золах растений встречаются мало интересные для поисков элементы: Ca, S, P, K, Si, Mg, Fe, Na, Cl, Al; менее распространены более важные для поисков Mn, Zn, Sn, Pb, V, Ti, Ni, Co; значительно реже встречаются Au, Hg, Rb, Ra и т. д.

Практически применение биогеохимического метода осуществляется так. Вкрест простирания интересующей (рудноносной) зоны прокладывают поисковые линии с интервалом 500—1000 м в зависимости от детальности работы; концы этих линий должны находиться на заведомо безрудных породах. На каждой линии через интервалы 50—10 м собирают листья (или обрезки веток) растений, наиболее распространенных в районе, в количестве 15—20 г (чтобы получилось не менее 20—100 мг золы). Кроме того, в 2—3 км от участка поисков на заведомо безрудных породах собирают листья таких же растений, чтобы иметь золу с фоновым содержанием. Некоторые геологи применяли при работах различные

прямоугольные и квадратные сетки со стороной квадрата от 300 до 5 м.

Результаты анализов наносят на геологические (хотя бы схематические) карты и, если нужно, проводят изолинии искоемых элементов; по полученным данным судят об ореолах рассеяния, о возможном местоположении искоемых рудных тел, о возможном наличии слепых рудных тел на некоторой глубине и т. д.

По глубинности биогеохимический метод превосходит металлометрическую съемку, но уступает гидрогеохимическому методу.

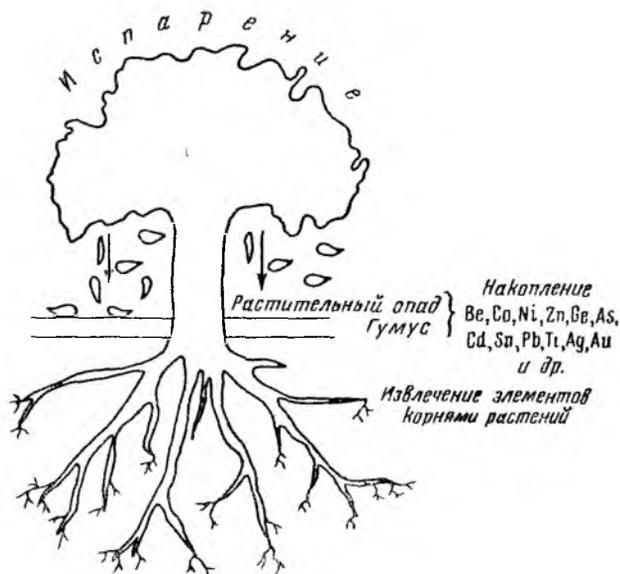


Рис. 17. Схема биогенной аккумуляции элементов в живом веществе и в верхних горизонтах почвы (по В. Р. Вильямсу и В. М. Гольдшмидту)

Максимальная глубина, доступная для обследования этим методом, определяется геологическими, геоботаническими и почвенно-географическими условиями, из которых важнейшим нужно считать глубину проникновения корней растений. Исследователи высказывают различные предположения относительно этой глубины; достовернее других представляются цифры 20—30 м (проникновение корней деревьев и некоторый капиллярный подъем).

Биогеохимический метод поисков рекомендуется применять в тех районах, где развиты мощные аллювиальные, эоловые и морские отложения, а также крупноглыбовый делювий, песок пустынь, т. е. там, где обычная металлометрическая съемка не дает эффекта.

Геоботанический метод поисков. Этот метод можно рассматривать отдельно или совместно с биогеохимическим. Еще в XV столетии «горным людям» было хорошо известно, что между рудной залежью

и растительным покровом на поверхности существует взаимосвязь проявляющаяся в преимущественном распространении некоторых определенных видов растений. Теперь точно известно, что некоторые виды и роды высших и низших растений (даже бактерии) являются специфическими коллекторами химических элементов; известны, например, коллекторы медные, цинковые, литиевые, марганцовые.

Обычно растения скорее приспосабливаются к элементам, распространенным в больших количествах (Na, K, Ca, Si, Fe и др.), чем к микроэлементам (Cu, Li, Hg и др.). Последние обычно вызывают заболевание растений, уменьшение их роста и т. д. — вплоть до полной бесплодности почвы (при высокой их концентрации). Развивающиеся в этих условиях специфические растения играют важную поисковую роль. Д. П. Малюга указывает, что на Южном Урале и в Туве обнаружены уродливые формы растений — индикаторов на никель (грудница мохнатая, грудница татарская, анемона) и на медь (качим). Знаменитые медные месторождения Северной Родезии и Катанги найдены по растительности при аэрофотосъемках.

Сущность геоботанического метода поисков заключается в том, что в облике и строении флоры стремятся обнаружить такие особенности, которые связаны с определенными полезными ископаемыми. Опыт показывает, что такая связь существует, но пользоваться ею можно только в пределах одного климата. Отсутствие универсальных растений-индикаторов для всей территории СССР является главным недостатком метода.

С. В. Викторов указывает, что в эту область исследований внесли оживление аэрометоды. Теперь можно считать, что геоботанический метод может быть использован в пяти основных направлениях: 1) для составления литологических карт, 2) для обнаружения неглубоко залегающих грунтовых вод, 3) для поисков солянокупольных структур и новейших тектонических нарушений, 4) для обнаружения битуминозности, нефти, бора, серы и т. д. и, наконец, 5) для поисков рудных месторождений.

Здесь же можно назвать биологический метод. Пока этот метод используется только для поисков нефти и газов. Присутствие в пробах специфических бактерий, окисляющих углеводороды, служит поисковым признаком на нефть и газ.

4. АЭРОМЕТОДЫ

В последнее время широкое развитие получили высокопроизводительные поисковые методы, известные под общим названием аэрометодов, под которыми подразумеваются специальные приемы работ с самолетов и вертолетов. По сравнению с наземными способами поисков аэропоиски отличаются резко повышенной экономичностью, скоростью и эффективностью.

Эффективность применения аэрометодов определяется следующими факторами: 1) геологической изученностью района работ; 2) характером рельефа и его расчлененностью; 3) степенью обнаженности горных пород; 4) литологическим составом пород; 5) тек-

тонической сложностью района; 6) климатическими особенностями и растительным покровом; 7) масштабом работ и высотой полета. Что касается производительности аэрометодов, то в грубом приближении можно считать, что, например, воздушно-радиометрические поиски масштаба 1 : 50 000 выполняются в 50 раз быстрее наземных. Наивысшее достижение авиации в области геологии: использование трехканальной геофизической аппаратуры (гамма-, магнито- и электрометрия) с параллельным ведением аэрофотосъемки.

Аэровизуальные наблюдения были первым приемом использования полетов для геологических целей. Аэрофотосъемка с геологическим дешифрированием и аэровизуальными наблюдениями представляет собой дальнейшее усовершенствование визуального метода геологических исследований. Ведущим методом работы является геологическое дешифрирование, т. е. выявление на аэрофотоснимках данных о геологическом строении территории по прямым и косвенным признакам.

Аэрофотоснимки сейчас выполняются преимущественно в масштабе 1 : 30 000—1 : 12 000. Такой масштаб достаточен для выявления крупных месторождений, например, угля, железных и марганцевых руд, в отдельных случаях железных пляж, которые дешифрируются на простых черно-белых контактных отпечатках. Лучшие результаты получаются при цветной фотографии.

По косвенным признакам — прежде всего по разломам и трещинам, по характеру рельефа, цвету и растительности — при дешифрировании могут быть выявлены выходы кварцевых рудоносных жил и пегматитов, речные террасы, с которыми связаны россыши, карсты и т. п.

Поисковое дешифрирование аэрофотоснимков можно применять на всех этапах поисков. При геологической съемке и предварительных поисках масштаба 1 : 200 000 чаще всего используются аэрофотоснимки в масштабе 1 : 30 000. На этих снимках успешно выявляются продуктивные свиты, зоны минерализации, интрузивные тела, крупные разломы, контролирующие размещение месторождений. Только объекты шириной менее 100 м и малой протяженности дешифрируются с трудом или могут быть обнаружены лишь на более детальных аэрофотоснимках. Крупные тела полезных ископаемых, например тела магнитных железных руд, отложения самосадочной соли легко дешифрируются в масштабе 1 : 30 000. Основная масса тел полезных ископаемых имеет небольшие размеры: таковы, например, некоторые рудные тела месторождений титана, хрома, связанные с основными породами, месторождений редких металлов в щелочных породах; все они требуют аэрофотосъемки в масштабе 1 : 15 000—1 : 5000 (например, алмазонасные трубки и пласты медистых песчаников хорошо дешифрируются в масштабе 1 : 5000). Такие масштабы аэрофотоснимков применяются обычно при геологической съемке и поисках масштаба 1 : 50 000 и крупнее (до 1 : 10 000).

Возможность изображения различных по величине объектов: при съемке и поисках в масштабе 1 : 200 000 — продуктивных свит

и рудных полей, а в масштабе 1 : 50 000 и крупнее — самих месторождений в значительной мере определяет и задачи, которые можно ставить перед поисками и поисковым дешифрированием в различных масштабах. Но, как и у всякого метода, возможности дешифрирования ограничены. Большую помощь поискам оно может оказать лишь в случае хорошей дешифрируемости ландшафта.

Аэромагнитная съемка. Аэромагнитная съемка в настоящее время систематически применяется при геологическом картировании для разделения областей развития осадочных, метаморфических и интрузивных пород, для картирования интрузивных массивов и магнитных комплексов метаморфических пород, для выявления и прослеживания зон тектонических нарушений, а также при поисках месторождений магнитных железных руд, месторождений цветных и редких металлов, приуроченных к зонам разломов, контактам основных и ультраосновных массивов и коре выветривания последних. Успешно применяется аэромагнитная съемка и для выявления некоторых складчатых структур, перспективных для поисков месторождений нефти и газа.

Аэромагнитная съемка проводится в масштабах от 1 : 1 000 000 до 1 : 50 000. Съемка в более крупных масштабах осуществляется только при комплексных работах (см. ниже), а также в отдельных случаях при использовании вертолетов. Масштаб аэромагнитной съемки определяется расстоянием между маршрутами, высотой полета, точностью измерения напряженности поля и точностью привязки измеренных данных к местности. Все эти факторы взаимосвязаны и должны учитываться совместно.

Используемые в настоящее время методы фотопривязки при наличии удовлетворительных ориентиров позволяют успешно осуществлять привязку маршрутов в полете даже при съемках масштаба 1 : 25 000 и 1 : 10 000.

Основными переменными факторами при проведении аэромагнитной съемки являются высота полета и межмаршрутные расстояния. С увеличением высоты полета (рис. 18) возрастает ширина зоны охвата, но вместе с тем убывает интенсивность поля локальных объектов и, следовательно, снижаются поисковые возможности метода, так как в этом случае могут быть пропущены аномалии отдель-

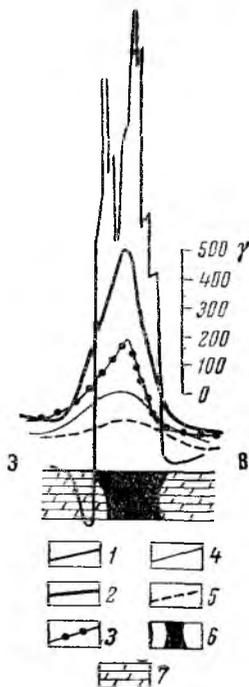


Рис. 18. Изменение формы записи над кимберлитовой трубкой в зависимости от высоты полета

1 — кривая, ΔZ наземной съемки, 2, 3, 4 и 5 — кривые ΔT аэромагнитной съемки на высоте 100, 200, 400 и 600 м, 6 — кимберлитовая трубка, 7 — известняки, доломиты

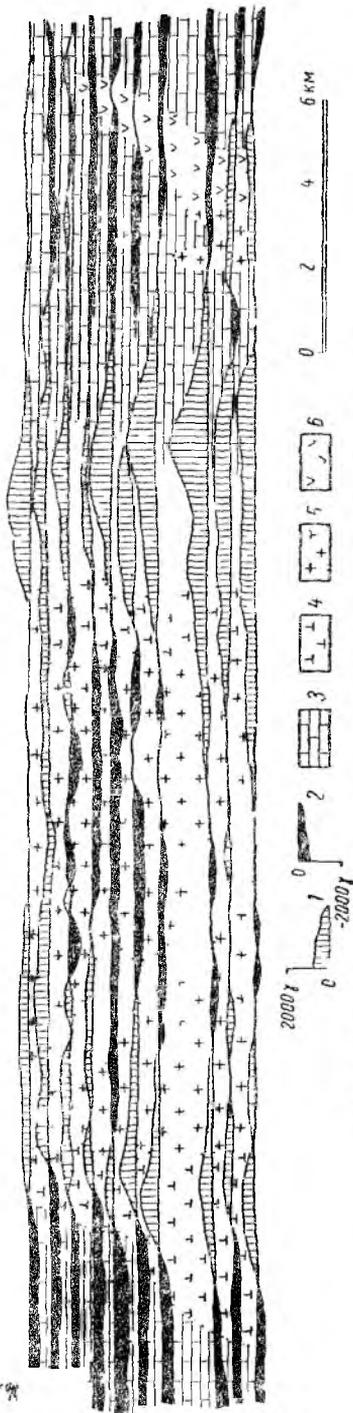


Рис. 19. Аномалия над погруженным массивом (по А. А. Логачеву)
 1 — положительные ΔZ , 2 — отрицательные ΔZ , 3 — известные, 4 — неизвестные, 5 — станции, дик ригч, габро, 6 — группы Грусенштейн, 6 — станции, аффузные

ных рудных тел. На основании значительного опыта работ расстояние между маршрутами, как правило, принимают равным 1 см в масштабе съемки, т. е. 1 км при масштабе 1 : 100 000 и т. д. Высота полета изменяется в зависимости от объекта съемки даже при одинаковых расстояниях между маршрутами.

Зоны контактов пород с различными магнитными свойствами обнаруживаются по данным аэромагнитной съемки как зоны изменения напряженности магнитного поля (рис. 19). Наличие рудопоявлений в зоне контакта отмечается благодаря присутствию в них повышенных концентраций ферромагнитных минералов.

Съемки с целью поисков месторождений следует производить в масштабе 1 : 100 000 и даже 1 : 50 000. В общем случае такие съемки проводятся на базе предварительной съемки масштаба 1 : 200 000, по результатам которой выделяется площадь для поисков. Иногда сразу (при наличии предварительных данных) ставится высокоэффективная аэромагнитная съемка масштаба 1 : 50 000, заменяющая наземную съемку того же масштаба.

Вследствие высокой производительности и дешевизны аэромагнитная съемка должна использоваться для направления других поисковых работ с целью повышения их эффективности. Поэтому в общем случае аэромагнитные съемки (так же как и аэrorадиометрические) целесообразно проводить до геологического картирования и поисков наземными методами с тем, чтобы усилить последние в районах, наиболее перспективных по данным аэромагнитометрии.

Аэрогаммасъемка. Современный метод аэрогаммасъемки включает три этапа работ: 1) измерение гамма-излучения горных пород на высоте полета и выделение аномалий; 2) анализ выявленных аномалий; 3) наземная проверка аномалий и их геологическая интерпретация.

Определение концентрации радиоактивных элементов в верхнем слое земной коры по измерениям интенсивности гамма-излучения в воздухе представляет большие трудности.

Для больших площадей излучения (1000×100 м и более) на высоте 200 м интенсивность излучения составляет немного более 20% от его интенсивности на поверхности земли. Для тел с небольшой поверхностью излучения падение интенсивности гораздо значительнее; так, для поверхности площадью 1200 м^2 (60×20 м) излучение, наблюдаемое на высоте всего 40 м, составляет только 10% от его интенсивности на поверхности земли. Существенное значение в этом отношении имеет и форма тела. Для удлиненных тел градиент убывания интенсивности излучения с высотой больше, чем для тел изометрической формы.

Наблюдаемые аномалии по их интенсивности при прочих равных условиях прямо пропорциональны концентрации радиоактивных элементов в излучающем слое. На измеряемую величину излучения оказывает влияние рельеф излучающей поверхности, а также чувствительность регистрирующей аппаратуры.

Замеренные (суммарные) интенсивности излучений при последующем анализе разделяют на нормальные и аномальные.

Методика радиометрических съемок с воздуха определяется расположением системы маршрутов, по которым производятся измерения, выбором расстояний между маршрутами, высотой полета, а также условиями района съемки. В числе других факторов решающую роль играют обнаженность коренных пород, мощность наносов и рельеф земной поверхности.

В зависимости от расстояний между маршрутами определяется масштаб съемки. Расстояние между соседними маршрутами должно соответствовать 1 см на карте данного масштаба.

Небольшие по размерам локальные объекты могут быть обнаружены только при полетах на небольшой высоте, не превышающей первых десятков метров. Следовательно, высота полета должна быть по возможности малая. По нормам безопасности, установленным Гражданским воздушным флотом, минимальная высота полета над равниной составляет 25 м, а в горных районах в зависимости от характера рельефа 50—150 м. Съемка обычно ведется в масштабе 1 : 25 000, значительно реже в масштабе 1 : 10 000.

Аэрогаммасъемка весьма чувствительна в отношении мощности наносов. При мощности наносов, превышающей 1 м, излучение коренных пород не может быть зарегистрировано при съемках. В таких случаях объектом излучения являются уже ореолы рассеяния радиоактивных элементов в наносах.

Важным методическим приемом является воздушная проверка выявленных аномалий, которая выполняется в процессе съемки. Она заключается в детализации участка аномалии несколькими дополнительными маршрутами длиной 2—3 км с расстоянием между ними 50—100 м, проложенными параллельно основному маршруту и частично перпендикулярно к нему с целью оконтурирования изучаемой аномалии. С целью изучения величины вертикального градиента аномального поля прибегают к съемке по нескольким маршрутам,

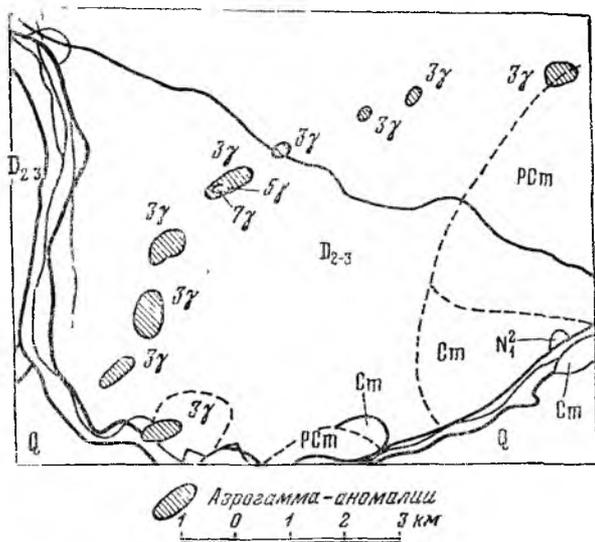


Рис. 20. Схема расположения аэрогамма-аномалий на одном из съемочных планшетов (по Г. П. Тафееву и И. С. Ожинскому)

пересекающим наиболее активную часть аномалии на различных высотах.

При интерпретации аномалий прежде всего устанавливаются значения гамма-активности, соответствующие различным петрографическим разностям и стратиграфическим комплексам пород исследуемого района.

На фоне полей, характеризующих определенные комплексы пород, выделяются локальные аномалии, отображающие особенности геологического строения района и, возможно, отвечающие рудным объектам. Рассмотрению должны быть подвергнуты все гамма-аномалии, превышающие возможную ошибку наблюдений.

Первым важным критерием при оценке аномалий является их интенсивность. Аномалии особо интенсивные, превосходящие окружающие породы по интенсивности гамма-излучения в два-три раза и более, должны выделяться в число первоочередных для наземной проверки. Вторым критерием обычно служит ширина

аномальной зоны. Рудным зонам и рудным телам обычно соответствуют узкие локальные аномалии, представленные на графиках гамма-съемки острыми высокими максимумами. Третьим критерием при оценке гамма-аномалий является их высотный градиент. Четвертым критерием служит геологическая обстановка, к которой приурочена аномалия. Пятым критерием может служить взаиморасположение аномалий (рис. 20). В некоторых случаях наносы скрывают геологические особенности участка (например, зону разлома), которые могли бы иметь решающее значение для оценки анализируемой аномалии.

Анализ аномалий и, следовательно, вся основная обработка результатов аэрогаммасъемки должны проводиться обязательно в процессе полевых работ.

Наземная проверка аномалий обычно проводится в две стадии: предварительную и детальную. В предварительную стадию отбраковывается до 70—80% общего числа зарегистрированных аномалий.

Предварительная стадия наземной проверки аномалий обычно включает пешеходную или автогаммасъемку площади аномалии, геологическую рекогносцировку участка, изучение обнажений, осыпей и имеющихся горных выработок, в отдельных случаях — проходку нескольких выработок легкого типа, измерение гамма-активности пород, изучение металлометрических и шлиховых проб, а также эманационные измерения по отдельным профилям.

Задачей детальную стадию наземной проверки является окончательная оценка перспективности оруденения. Основными видами работ (по существу относящихся к поисково-разведочной стадии) при детальном наземной проверке аномалий являются: геологическая съемка масштаба не мельче 1 : 10 000, площадная пешеходная гамма-съемка или эманационная съемка масштаба 1 : 2000—1 : 5000, проходка канав, расчисток, шурфов и в случае необходимости бурение скважин.

Аэрогаммасъемка в настоящее время используется в основном при геологическом картировании в различных масштабах и при поисках месторождений радиоактивных руд. Нужно учесть, что теперь можно различать площадные аномалии по их природе (урановые, ториевые, смешанные, калиевые); аэрорадиометрические съемки применяют для поисков различных россыпей, алмазных трубок, месторождений хрома, никеля, титана, платины (если они связаны с ультраосновными породами), некоторых скарновых, многих редкометалльных, в частности ниобиевых, и серии других (молибденовых, вольфрамовых, оловянных, кобальтовых и других месторождений), особенно связанных с радиоактивными минералами.

Аэрогаммасъемка также применяется при поисках нефтеносных структур, которым, как оказывается, соответствуют заметные минимумы гамма-поля (рис. 21).

Комплексная аэрогеофизическая съемка. В последние годы в СССР и за рубежом широко используется метод комплексной аэрогеофизической съемки, заключающийся в одновременном производстве

аэромагнитной съемки и аэрогаммасъемки. При этом очень часто параллельно ведется аэрофотосъемка, а в последние годы и аэроэлектротометрия.

Аэромагнитная съемка может выделить такие месторождения радиоактивных руд, для которых установлена связь с магнетитово-гематитовой минерализацией, причем эти месторождения могут быть

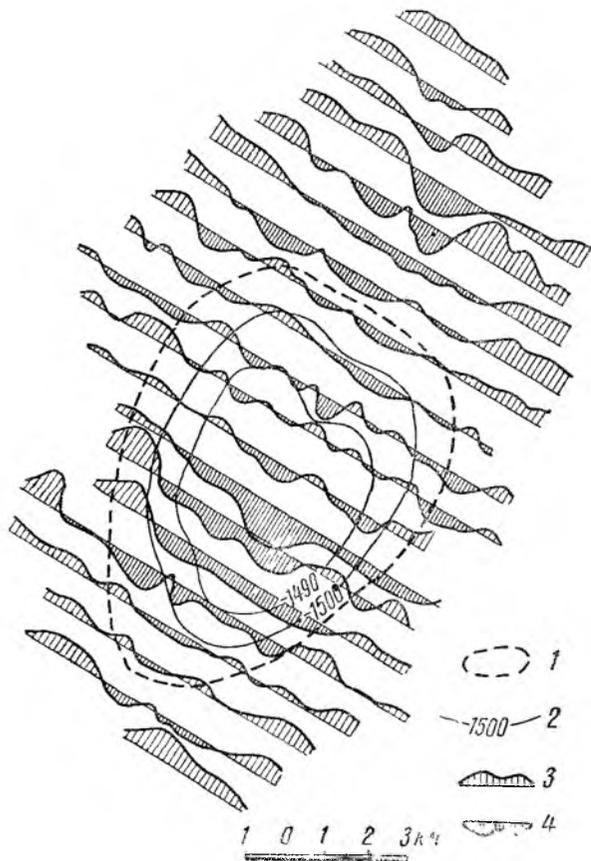


Рис. 21. Карта аэрогамма-съемки Коробковско-го месторождения (по А. И. Лаубенбаху и Л. Н. Скосы евой)

1 — внешний контур нефтеносности по кровле бобринского горизонта, 2 — изогины кровли этого горизонта, 3 — повышенные значения гамма-активности, 4 — пониженные значения гамма-активности

выявлены на глубинах, недоступных для аэрогаммасъемки. В свою очередь, данные аэрогаммасъемки могут существенно помочь при выделении некоторых объектов среди интрузивных пород, которые не выделяются по материалам аэромагнитной съемки. Так, по результатам аэромагнитной съемки не могут быть, например, разделены массивы основных и щелочных пород, нередко характеризующиеся весьма сходными магнитными полями.

Вообще, во время поисков геофизические методы могут быть использованы для решения следующих задач:

1) выяснения геологического строения района поисков, прослеживания определенных стратиграфических или литологических гори-

зонтов, определения структуры района работ, участка поисков и разведки;

2) выделения наиболее перспективных для поисков частей обследуемой территории в зависимости от развития в ее пределах перспективных толщ пород, вмещающих месторождения искомого типа, или структур, благоприятных для образования рудных тел, или, наконец, рудоносных интрузий.

5. УСЛОВИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОИСКОВЫХ МЕТОДОВ

Правильное отнесение района поисков к какому-либо определенному типу геологических обстановок (см. гл. II) позволяет более или менее обоснованно судить о возможности открытия в его пределах месторождений тех или иных полезных ископаемых, а тем самым и о необходимом для их обнаружения комплексе поисковых методов. Возможности применения различных поисковых методов и достоверность получаемых данных, кроме того, определяются ландшафтными условиями района поисков.

Учитывая разнообразие геологических обстановок и ландшафтных условий поисков, целесообразно кратко сформулировать условия рационального применения всех ранее перечисленных поисковых методов.

1. Обычные геологические методы, которые часто именуют визуальными, успешно применяются в «обнаженных» районах, в то время как к «закрытым» эти методы неприменимы.

2. Шлиховой метод может использоваться для поисков месторождений всех рудных минералов, образующих механические вторичные ореолы; он применим при разнообразных условиях рельефа, но особо эффективен в обнаженных районах с умеренно расчлененным рельефом.

3. Металлометрическое опробование потоков рассеяния дает хорошие результаты в складчатых областях и на щитах при среднегорном и низкогорном рельефе. Влияние дальнотранспортного материала весьма неблагоприятно. Метод применим для поисков месторождений меди, молибдена, свинца и цинка, кобальта, сурьмы, ртути и золота.

4. Металлометрическая съемка по вторичным ореолам рассеяния применима при мощности наносов до 3 м; при большей мощности наносов металлометрические пробы необходимо отбирать из специальных выработок или скважин. На площадях, замаскированных продуктами разрушения коренных пород при мощной коре выветривания, — метод неприменим. Наиболее эффективно применение метода в аридном климате.

5. Гидрогеохимический метод дает особенно хорошие результаты при поисках минеральных солей, но также подходит для поисков растворимых металлических элементов эндогенных месторождений. Метод более глубокий по сравнению с металлометрическими методами.

6. Аэромагнитометрический метод может использоваться в районах с различными ландшафтными условиями. Он применяется при любых высотах полета, хотя получаемая точность измерений различна. Глубинность метода 400—600 м. Мощность почвенно-растительного слоя не имеет значения. Метод широко применим для поисков всех месторождений, в которых есть магнитные минералы.

7. Аэорадиометрический метод наиболее эффективен в районах с аридным климатом. Наносы и растительный покров явно мешают. Полеты следует проводить на возможно меньшей высоте. Метод применим для поисков месторождений не только радиоактивных руд, но и других, содержащих радиоактивные элементы.

Методика поисковых работ, заключающаяся в применении наиболее рационального комплекса методов в определенной последовательности, зависит не только от типа месторождений полезных ископаемых, характерных для района поисков, но и от общих природных условий, в которых поиски осуществляются.

В областях сплошного развития мощного четвертичного покрова, т. е. в «закрытых» районах, обычные геологические методы не могут быть использованы. Здесь можно вести поиски, только сочетая геофизические методы с бурением.

В «открытых» областях можно выделить по крайней мере три типа районов, отличающихся по степени обнаженности и возможностям обнаружения месторождений геологическими методами. Вне зависимости от геологического строения районов эти возможности определяются резкостью и глубиной расчленения рельефа.

Районы с высокогорным сильно расчлененным рельефом, а также с альпийскими формами рельефа в пределах нагорий и среднегорных областей, в меньшей мере районы с сильно расчлененным низкогорным рельефом наиболее благоприятны для применения обычных геологических методов поисков. Эти формы рельефа развиты главным образом в складчатых областях.

На втором месте по условиям проведения наземных геологических поисков находятся все остальные «открытые» районы складчатых областей. Это в основном среднегорные районы и нагорья, а также области низких гор, плоскогорья и равнины, развитые на сравнительно небольшой части складчатых областей и на значительной части щитов.

К малоблагоприятным районам относятся наименее расчлененные равнины и плато.

Таким образом, важнейший вопрос о повышении эффективности поисковых работ решается прежде всего рациональным комплексированием различных поисковых методов. Комплексирование же вытекает из приведенных данных о типичных геологических обстановках и применимости поисковых методов к различным типам ландшафтных условий.

6. ПОИСКИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Проблема районирования территории СССР, как и всякой другой площади, и комплексирования различных методов поисков, а также комбинирования их с геологической съемкой для различных типов районов является основной проблемой, решение которой необходимо для повышения эффективности поисковых работ. В последние 25 лет утвердилось мнение, что поиски есть обязательная и неизменная принадлежность геологической съемки. Такое утверждение совершенно неправильно. Ведь геологическая съемка должна решать все геологические вопросы — петрографии, тектоники, вулканизма и геоморфологии. Поясним эту мысль: геологическая съемка должна по возможности фиксировать все стратиграфические горизонты, все контакты, все тектонические импульсы, петрографический состав всех пород и т. д.; только в этом случае будут получены полноценные данные для воссоздания непрерывной картины геологической истории. Ясно, что геологическая съемка решает поисковые задачи попутно, как и другие геологические вопросы.

Иное дело поиски полезных ископаемых: в этом случае нужно исследовать, проверять только некоторые, сравнительно редкие пункты или явления. Иначе говоря, поиски, которые, естественно, полностью основаны на знании геологии района, всегда бывают целеустремленными.

Конечно, основная цель геологических съемок — помочь поискам и разведке месторождений полезных ископаемых. При геологической съемке, кроме расчленения территории на естественные структурные единицы и выяснения геологической истории района, выявляются все поисковые геологические критерии и признаки (поэтому и оценивать съемочную работу следует с точки зрения полноты и отчетливости выявления поисковых критериев и признаков).

В новых районах можно геологическую съемку и поиски производить совместно, но и в этом случае следует планировать двухлетнюю работу на двух планшетах и в первый год производить преимущественно съемку, а во второй — преимущественно поиски, пользуясь результатами работ первого года. Иногда планируется съемка и поиски на трех планшетах на три года.

В общем случае геологическую съемку и поиски нужно считать в основном независимыми операциями. Это, конечно, не значит, что все элементы поисков в съемочной работе (и наоборот) исключаются: некоторые поисковые наблюдения можно и нужно делать попутно с геологической съемкой. В то же время в процессе поисков всегда должны уточняться геологические карты. В организации геологической съемки и поисков должна быть большая гибкость. Эти выводы основаны на многолетней практике.

В итоге съемки масштаба 1 : 200 000 должны быть составлены: геологическая карта, карта четвертичных отложений с элементами геоморфологии, карта изученности, тектоническая карта; кроме того,

составляется карта опойскованности района геофизическими, геохимическими, шлиховым и другими методами, геологопоисковые карты по группам полезных ископаемых, карта районирования по ландшафтным условиям, по которой намечается схема дальнейшего направления поисковых работ и выбираются методы поисков.

На основании всех рассмотренных данных, полученных в результате многолетней практики, очевидна важность предварительных поисков. Прежде всего они во много раз скорее и дешевле детальных поисков (в 10 раз). В плохо опойскованных участках лучше повторить поиски масштаба 1 : 200 000, чем ставить поиски масштаба 1 : 50 000. Кроме того, на основании предварительных поисков нужно составлять геологопоисковую карту и, главное, давать п р о г н о з перспектив нахождения новых месторождений. Такое прогнозирование, основанное на поисковых работах и знании геологии района, представляется наиболее достоверным и конкретным.

ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

1. КРУПНОМАСШТАБНАЯ СЪЕМКА И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ РАБОТЫ

Любые научно обоснованные поиски могут производиться только на основе геологической карты. Детальная государственная съемка в масштабе 1 : 50 000 (иногда 1 : 25 000) является полноценной, но весьма дорогой основой для поисков всех видов полезных ископаемых; в производстве ее используются не только все поисковые методы, но и все данные по поисковым критериям и признакам. Эта съемка так или иначе должна выявить все рудные поля и зоны, не говоря уже об осадочных продуктивных толщах.

Геологические съемки масштабов 1 : 10 000 и 1 : 5000 (реже 1 : 25 000 и 1 : 1000) вообще неотделимы от поисков и олицетворяют собой поисково-разведочную стадию работ. Исследования в этих масштабах ставятся на небольших площадях с целью выявления в их пределах эндогенных и экзогенных месторождений всех видов полезных ископаемых. На этой стадии работ обычно производятся основные геофизические и почти все мелкие горно-буровые работы, детально выясняются структурные особенности исследуемых участков и выявляются скрытые месторождения.

На поисково-разведочной стадии необходимо в первую очередь изучить осадочные и изверженные породы местного разреза с точки зрения возможного их использования в качестве полезного ископаемого или их роли как вмещающих пород для каких-либо рудных тел.

Конечно, значительно сложнее обстоит дело с эндогенными месторождениями, особенно скрытыми. Но широкое применение всех поисковых методов (геохимических, геофизических и др.), включая смелую горно-буровую проверку, гарантирует определение местоположения всех эндогенных месторождений (лишь в немногих случаях местоположение месторождений может быть только намечено).

Масштабы 1 : 10 000 и 1 : 5000 чаще всего применяются в поисково-разведочной стадии, 1 : 2000 и 1 : 1000 — в разведочном этапе, а 1 : 500, 1 : 200, 1 : 100 — в период эксплуатационной разведки (рудничной геологии).

Методика производства как крупномасштабных, так и всех других геологических съемок здесь не рассматривается. Необходимо только усвоение аксиомы: ни одна поисковая или разведочная работа

не должна производиться при отсутствии геологической карты соответствующего масштаба.

Один из существенных факторов, связанных с детализацией геологических съемок, заключается в росте трехмерных представлений о данном участке земной коры.

Крупномасштабная геологическая съемка часто дает возможность как отбраковывать непромышленные месторождения, так и правильно оценивать благоприятные минеральные скопления.

Обычно в масштабе 1 : 10 000 снимается площадь 10—100 км², в масштабе 1 : 5000 — 5—25 км², а в масштабе 1 : 2000 — 1—3 км², чаще даже десятые доли километра, не говоря уже о масштабе 1 : 1000. На этих малых площадях предполагается наличие в порядке прогноза промышленных месторождений того или иного типа, характерных для данных геологических условий. В каждом из изучаемых районов решаются ведущие вопросы: структурные — для участков развития постмагматических месторождений, геолого-литологические или фашиально-литологические — для экзогенных и, наконец, геолого-петрографические — для метаморфогенных. На зачисляемых площадях при необходимости параллельно проводятся различные специальные съемки: гидрогеологическая, минералогическая, петрографическая, четвертичных отложений и другие и составляются соответствующие карты. Нужно учитывать, что понятие структуру — это значит в первую очередь понятие последовательности геологических событий в данном районе.

В процессе планирования крупномасштабного картирования (1 : 10 000—1 : 1000) необходимо учесть все предшествовавшие работы по наземной и воздушной геологической съемке (особенно в масштабе 1 : 50 000), включая материалы от аэрофотосъемки до всех аэрогеофизических съемок (магнитно-, гамма- и электросъемки). На основании всех этих данных составляется схематическая крупномасштабная карта планируемой к съемке площади и условные обозначения к ней.

В период составления рабочей схемы решается вопрос о том, что необходимо дополнительно отобразить на крупномасштабной карте, кроме данных, отражение которых является обязательным. Эти обязательные данные включают историческую последовательность и закономерность формирования структуры, определяющих локализацию оруденения; литологию пород; метаморфизм дорудный и пострудный; контуры рудных зон и их выходы на поверхность; различные аномалии; все признаки скрытого оруденения и т. д. на этих картах должны быть изображены пласты толщиной от 2 мм (в масштабе карты) и более, изометрические тела диаметром 4 мм, а важнейшие факты и структурные элементы даже в условном, увеличенном масштабе.

Кондиционность этих крупномасштабных карт определяется в первую очередь точностью и достоверностью изображения прослеженных элементов структуры, а также количеством обнажений на единицу площади. За контрольную цифру принимается одно

обнажение на 1 см² карты, т. е. в масштабе 1 : 10 000—100 обнажений на 1 км², 1 : 5000 — 400 обнажений. 1 : 2000 — 2500 обнажений.

Правильная трактовка геологии района и наличие полноценной геологической карты с соответствующими разрезами к ней гарантируют эффективность проведения любых других работ: геохимических, геофизических, горно-буровых и даже частично топографических. В то же время известно, что геологическая съемка практически беспредметна, если площадь исследуемого района покрыта глубокими четвертичными отложениями и на ней не имеется естественных обнажений коренных пород. Кроме того, если глубокие четвертичные отложения дальнеприносного происхождения, то совершенно бесполезно проведение металлотрии. Только геофизические методы, некоторые геохимические, а также горно-буровые могут дать в этих условиях тот или иной эффект, особенно при правильной их комбинации.

Итак, только рациональное комплексирование и последовательность применения различных геологических и поисковых методов могут служить основой успеха работ. Например, когда площадь закрыта четвертичными отложениями, начинать геологическую съемку нужно с проведения геофизических работ, в результате которых можно легко установить глубину рыхлых перекрывающих отложений.

Все это говорит о необходимости нахождения в процессе крупномасштабной съемки оптимальных решений, т. е. таких эффективных работ, которые требуют минимальных затрат времени и средств.

Не нужно стремиться срочно производить кондиционные топографические съемки, пока промышленное значение изучаемого месторождения не ясно. Как раз такая неясность в промышленной оценке месторождения характеризует рассматриваемую поисково-разведочную стадию. При прочих равных условиях вполне целесообразно при этих работах ограничиваться аэрофотосъемкой (масштаба 1 : 8000—1 : 4000), которая во много раз дешевле крупномасштабных топографических съемок и дает возможность дешифровать геологическое строение участка с детальностью масштаба 1 : 5000—1 : 2000. Кроме того, дешифровка материалов аэрофотосъемки нередко дает очень много ценных данных для понимания геологии участка (например, разломов) и даже помогает в решении вопроса о локализации месторождений полезных ископаемых.

Геохимические методы, рассмотренные при описании поисков, здесь особых пояснений не требуют. Многие геологи настаивают на производстве металлотрической съемки заблаговременно — до начала геологической съемки. Целесообразность этого может быть доказана только для конкретных условий. Но в общем случае такое решение не исключено, учитывая дешевизну металлотрических работ.

Некоторые геохимические работы свойственны только поисково-разведочной стадии: металлотрия по коренным породам для уста-

новления и оконтуривания в них первичных ореолов рассеяния; микробиологическое опробование горных пород (при детальном поиске нефти и газа); некоторые газовые методы и др.

Постановка некоторых геофизических работ особенно целесообразна в поисково-разведочной стадии и поэтому ниже приводятся данные об эффективности этих работ, роль которых с каждым годом увеличивается.

Правильный выбор геофизических методов для эффективного разрешения поставленных задач возможен только при детальном знании физических свойств горных пород и закономерностей их изменения, тем более, что методика их определения достаточно проста. В обязанности геолога-поисковика должно входить установление для изучаемого им района или рудного поля плотности горных пород, а также их магнитных, электрических, упругих и радиоактивных свойств.

При организации и производстве поисково-разведочных работ каждый геолог-разведчик в первую очередь должен рассмотреть вопрос о максимально возможном применении геофизических методов в данных условиях.

Задачи, поставленные перед геофизикой, очень часто решаются путем комплексной геофизической съемки, так как данные, полученные в результате применения одного из геофизических методов, часто бывают безрезультатны.

Многие геологи привыкли оценивать геофизические аномалии только по интенсивности проявления, резко превышающей нормальный фон, хотя также нужно учитывать показания других геофизических методов, а главное геологические критерии и признаки.

Планируя применение геофизических методов, необходимо всегда учитывать возможность получения прямых и косвенных ответов. Прямые ответы указывают на вероятное обнаружение какого-либо тела полезного ископаемого, например какой-либо рудной линзы, пласта магнитных руд, пегматитовой жилы и т. д. Косвенные ответы обычно указывают на установление благоприятных структур, с которыми связаны те или иные полезные ископаемые (например, нефть), или каких-либо минералов и пород, с которыми связаны месторождения, например магнетитовый шлик в россыпи и т. д.

Для различных стадий геологоразведочных работ необходимо наметить задачи, которые могут решаться с помощью геофизики. В частности, для поисково-разведочной стадии, в которой геофизические методы играют особо важную роль, такими задачами являются следующие: а) всемерная помощь геологической съемке крупных масштабов; б) обнаружение рудных полей, рудных зон и т. п., а также установление их геологического строения; в) конкретное установление рудных тел и всевозможных скоплений с весьма приближенной их количественной оценкой; г) грубая оценка перспективных запасов для некоторых видов полезных ископаемых на основе

анных оконтуривания рудных тел, изучения их морфологии, условий залегания, структуры.

Достаточно интенсивные геофизические аномалии выявляются только в том случае, если физические свойства искомого полезного ископаемого заметно отличаются от свойств вмещающих его пород. Четкая аномалия, по А. И. Дюкову, получается при величине этих отличий не менее чем в 10—25%. При меньших отличиях аномалии

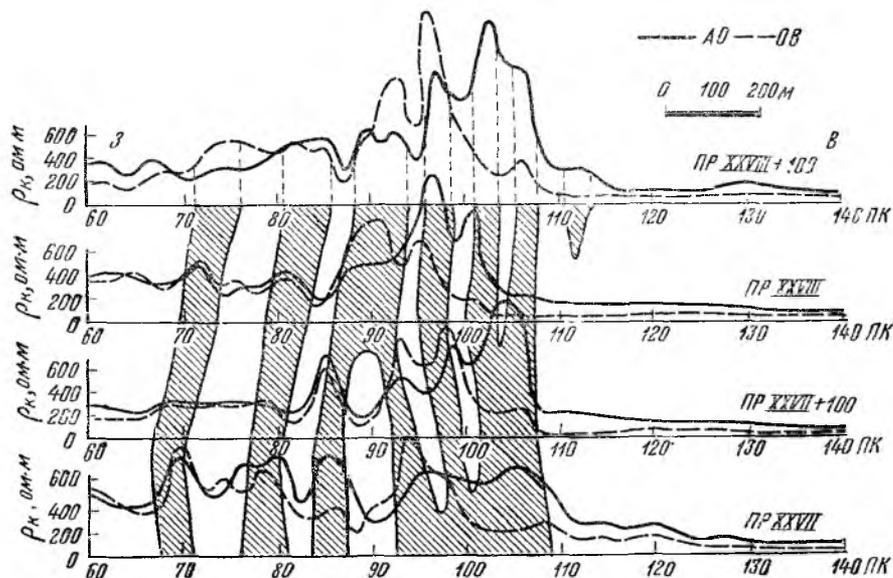


Рис. 22. Выделение зон различного удельного сопротивления по кривым кажущегося сопротивления (по А. В. Вешеву и др.)

Размеры установки: $AO = 100$ м, $MN = 40$ м. Заштрихованы зоны высоких кажущихся сопротивлений

получаются расплывчатыми или вовсе незаметны. Очень важна также глубина залегания тела, вызывающего аномалию, и его размеры. Благоприятными являются такие случаи, когда длина тела больше трети глубины его залегания. При отношении этих величин от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{10}$, по А. И. Дюкову, применение геофизических методов обычно оказывается возможным, хотя и сопряжено с большими или меньшими трудностями. При отношении длины тела к глубине его залегания, меньшем $\frac{1}{10}$, условия для применения геофизических методов являются неблагоприятными. Конечно, все эти цифры приведены только для общей ориентировки, особенно геологов-разведчиков, а не геофизиков. Указанные цифры требуют многочисленных оговорок: при неблагоприятных условиях геофизические методы могут не дать эффекта, так же, как их применению могут помешать различные дезориентирующие геологические факторы.

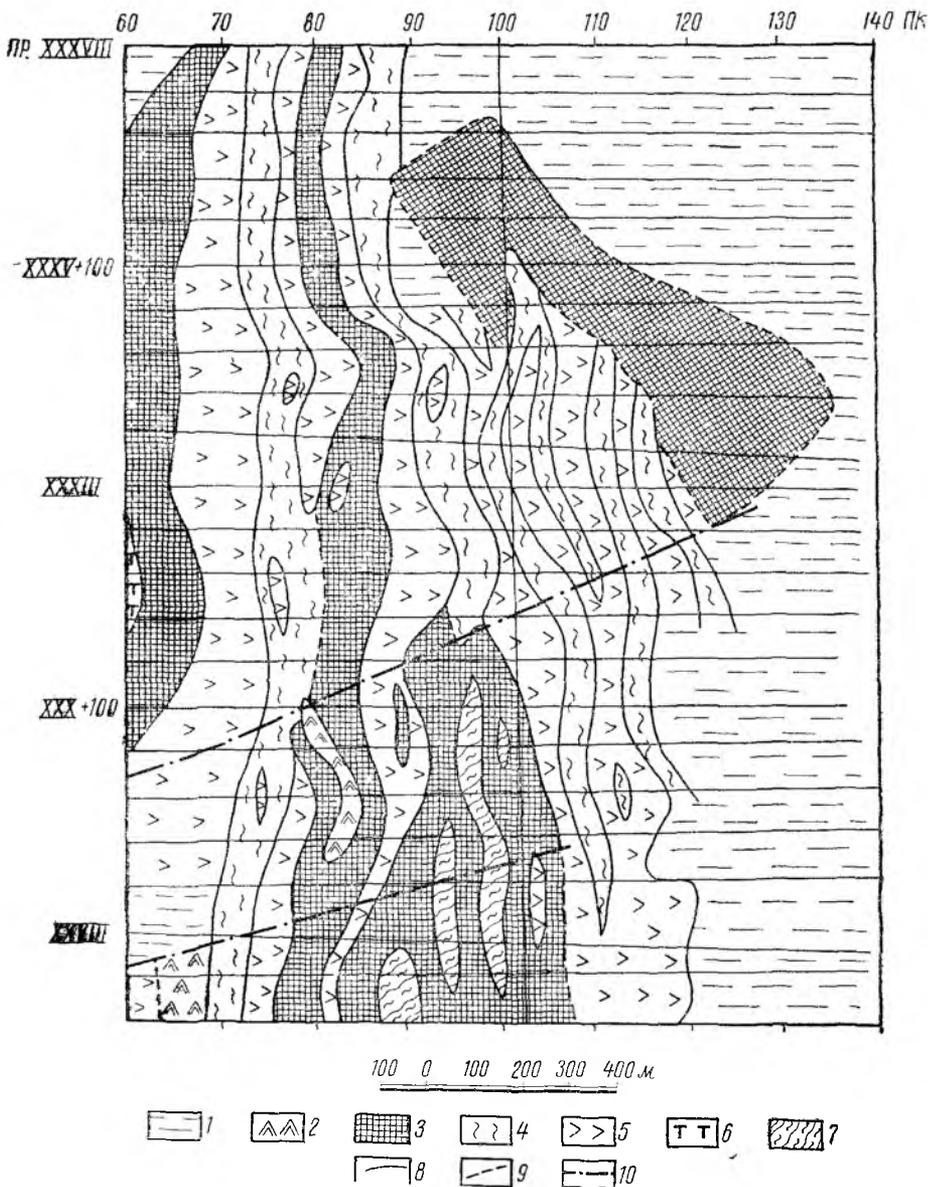


Рис. 22. Геологическая карта участка, построенная по геофизическим и геологическим данным (по А. В. Вещеву и др.)

1 — рыхлые отложения, 2 — порфиритоиды, 3 — микрокварциты, 4 — кремненные кварцево-хлорито-серпичитовые сланцы (роговики), 5 — порфириды, 6 — туфоиды, 7 — хлорито-серпичитовые сланцы, 8 — границы пород по геофизическим и геологическим данным, 9 — то же по геологическим данным, 10 — линии тектонических нарушений по геологическим данным

Практика геофизических исследований, особенно последних трех десятилетий, с достаточной четкостью установила целесообразность применения тех или иных геофизических методов как для крупномасштабных геологических съемок, так и для обнаружения различных видов месторождений полезных ископаемых.

Роль геофизических методов для крупномасштабного геологического картирования увеличивается с уменьшением естественной обнаженности коренных пород. Поэтому часто детальное геологическое изучение участка начинается с постановки геофизических работ.

Составление крупномасштабной карты с предварительным использованием метода комбиниро-

ванного электропрофилирования и магнитометрии является наиболее целесообразным.

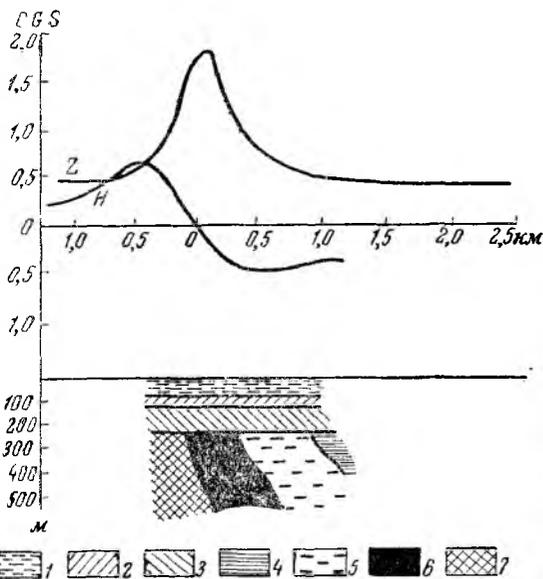


Рис. 24. Распределение магнитных сил над пластовыми железными рудами (по А. И. Заборовскому)

1 — меловые отложения, 2 — юрские отложения, 3 — девонские отложения, 4 — кристаллические известняки, 5 — биотитовые сланцы, 6 — железистые кварциты, 7 — хлоритовые сланцы.

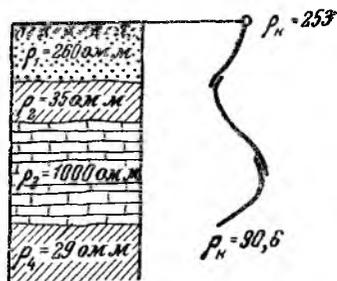


Рис. 25. Кривая ВЭЗ, выделяющая известняковый горизонт высокого сопротивления (по Ю. В. Якубовскому и Л. Л. Ляхову, схематизировано)

ванного электропрофилирования начинается с построения карты профилей кажущегося сопротивления. На основании карты профилей составляется структурно-корреляционная карта, построение которой требует предварительного выделения зон различного удельного сопротивления по кривым кажущегося сопротивления (рис. 22). Составление этой карты часто предшествует составлению геологической карты. На основании структурно-корреляционной карты и предварительной геологической схемы составляется нормальная геологическая карта участка (рис. 23).

Наряду с комбинированным электропрофилированием для геологического картирования в различных условиях с успехом используется магнитометрия, вертикальное электрическое зондирование

(ВЭЗ), метод естественного поля, метод заряда и некоторые другие геофизические методы, которые нередко выявляют аномалии, связанные с месторождениями полезных ископаемых.

Для выявления многих промышленных типов месторождений (см. гл. I) геофизические методы применимы с большим эффектом, что многократно доказано в последние десятилетия.

Пластовые и пластообразные месторождения крупных размеров выявляются геофизикой достаточно успешно; особенно хорошо выявляются крутопадающие тела в сильно метаморфизованных толщах пород, например железорудные свиты и тела железистых кварцитов (рис. 24). В ряде случаев с помощью геофизических методов возможно определение мощности крутопадающих тел, их элементов залегания, а при благоприятных условиях даже

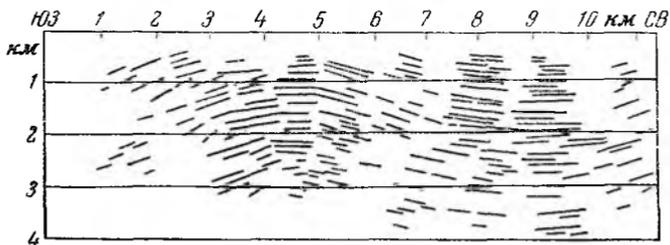


Рис. 26. Сейсмический профиль через антиклинальную складку в море, вблизи Апшеронского п-ова (по В. И. Куликову и А. Н. Федоренко)

ориентировочное определение вещественного состава руд, вплоть до подсчета запасов этих руд по категориям C_1 и C_2 с минимальным использованием разведочных выработок.

Полого и горизонтально залегающие пласты, связанные с различными осадочными отложениями, с помощью геофизики выделяются значительно хуже. Для них (рис. 25) обычно применяется электротометрия (зондирование) и сейсмометрия (рис. 26). При благоприятных условиях удается установить границы распространения пластов. характер их ограничения, а в отдельных случаях фиксировать их кровлю и почву.

Массивы и крупные тела неправильной формы, например интрузивные тела различного состава, зоны и участки измененных пород и соляные купола с помощью геофизических средств выделяются легко благодаря значительным отличиям физических свойств самих массивов и вмещающих пород.

Крупные и средние линзовидные тела разнообразного состава, обычно эндогенного генезиса, залегающие среди различных пород, могут изучаться с помощью магнитометрии, гравиметрии (рис. 27), электротометрии и других методов, кроме сейсморазведки. В некоторых случаях большой эффект дает метод заряженного тела, с помощью которого можно определять

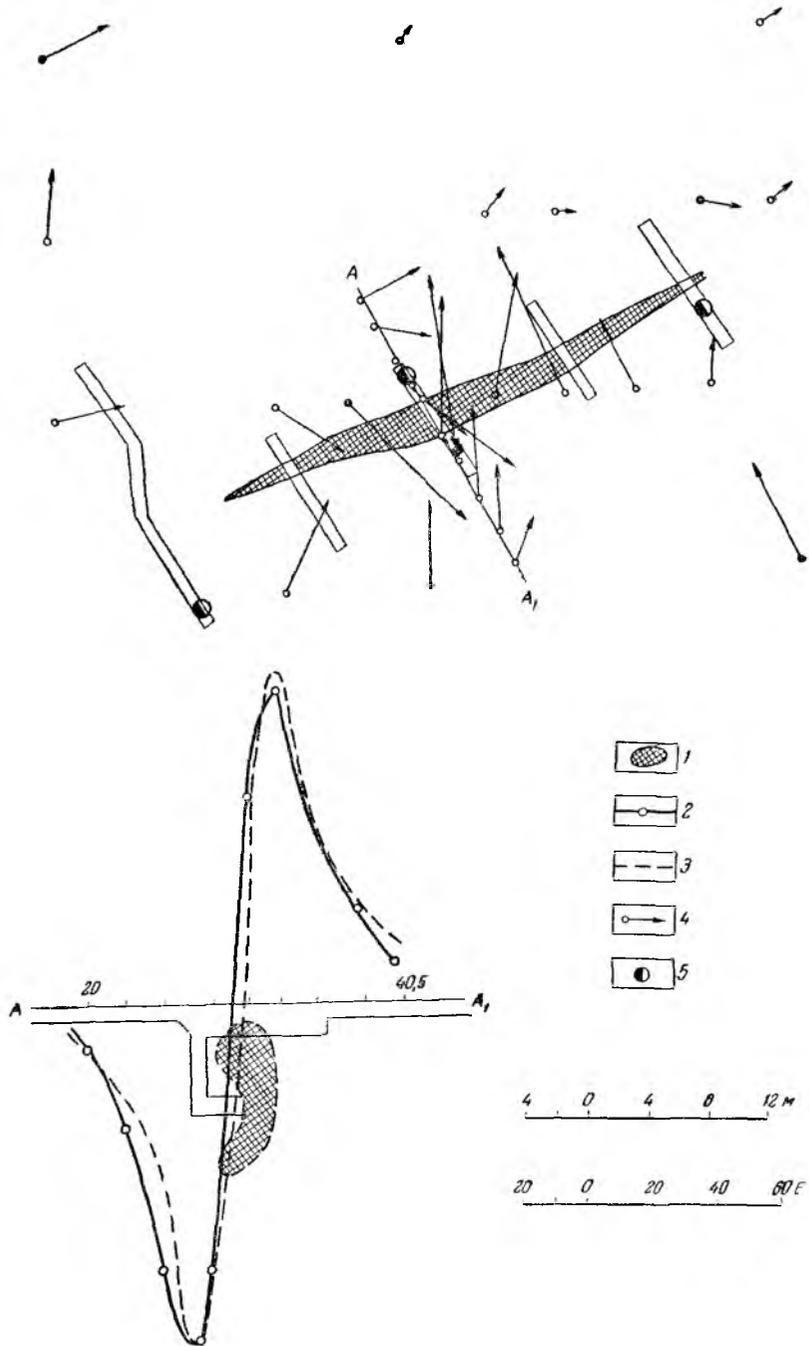


Рис. 27. Результаты гравirazведочных работ и геологический план рудного тела, открытого гравirazведкой (по В. А. Андрееву)
 1 — контур рудного тела, 2 — наблюдаемая кривая градиента, 3 — теоретиче-

даже длину и форму тела, а также его элементы залегания. Для изучения линзовидных тел часто применяют несколько геофизических методов.

Жилы и маломощные пласты крайне разнообразны, что требует для их выявления различных геофизических методов и нередко их комбинации:

а) жилы, плохо проводящие электрический ток, например кварцевые жилы и пегматиты, выявляются методом электрического профилирования и методом отношения потенциалов (ИЖ);

б) жилы и зоны с высокой электрической проводимостью, например жилы с большим содержанием сульфидов, легко улавливаются комбинированным профилированием (рис. 28);

в) жилы, обогащенные магнитными минералами (магнетитом, пирротинном), изучаются детальной магнитной съемкой;

г) гонкие пласты с высокой электронной проводимостью.

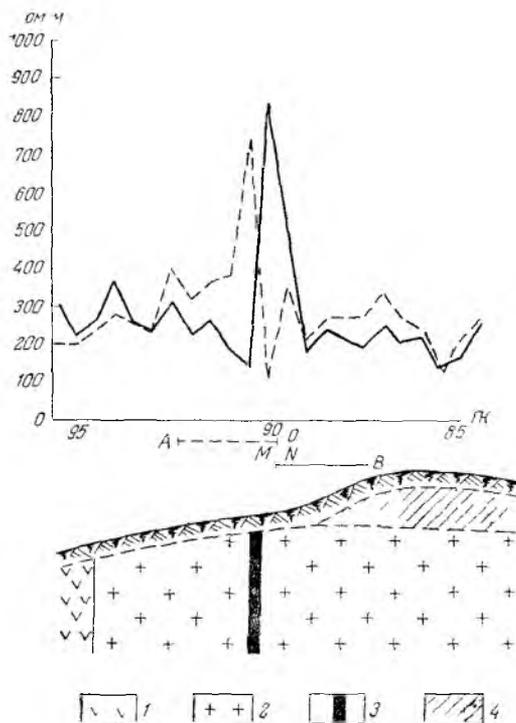


Рис. 28. График комбинированного профилирования над сульфидной жилой (по В. Е. Зайцеву)

1 — порфириты, 2 — граниты, 3 — рудная жила, 4 — песчаники

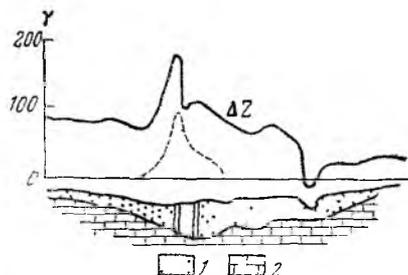


Рис. 29. Кривая ΔZ над золотоносной россыпью и кривая содержания магнетита (по А. А. Логачеву)

1 — аллювиальные пески, 2 — известняки
Кривая содержания магнетита и золота в кварцитах

мостью, например антрациты, хорошо прослеживаются методом заряженного тела и иногда естественного поля;

д) жилы, пласты и дайки, обогащенные радиоактивными минералами, выявляются при небольшой мощности наносов по результатам эманационной или гамма-съемки.

Плащеобразные залежи в коре выветривания, как и сама кора выветривания, обычно легко выявляются по физическим свойствам (применяются магнитометрия, радиометрия, гравиметрия).

Россыпи — их мощность и рельеф плотика — выявляются ВЭЗ, а магнитометрия фиксирует контуры россыпи, так как в шлехе часто содержится большое количество магнетита (рис. 29).

Малые рудные тела можно выявить только при условии их неглубокого залегания, как, например, редкометалльные тела, бокситы и др.

Геофизические методы давно уже нашли свое определенное место при разведке некоторых видов месторождений полезных ископаемых. При исследованиях в каменноугольных бассейнах с помощью геофизических методов изучают главным образом складчатые и разрывные структуры, а в поисково-разведочную стадию нередко прослеживают не только детали структур (например, разрывных), но и отдельные каменноугольные пласты, иногда их горелые выходы (например, в Кузбассе). При работах на нефть и газ с помощью геофизики изучают структуры и отчасти литологию пород. Очень давно и хорошо изучаются разнообразные железные и титановые руды. Залежи и линзы хромшпинелидов улавливаются хорошо сами по себе, так же как и вмещающие их массивы ультраосновных пород, с оконтуривания которых обычно начинаются эти работы. Хорошо выявляются сульфидные никелевые руды благодаря наличию в них или пирротина, или магнетита, не говоря уже о вмещающих основных и ультраосновных породах. Довольно хорошо обнаруживаются и даже оконтуриваются все руды, содержащие магнитные минералы (магнетит и пирротин); к таким относятся многие руды, встречающиеся совместно со скарнами. Неплохо выявляются некоторые экзогенные руды, связанные с карстом, например силикатного никеля и др.

2. О СТРУКТУРАХ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Структурные проблемы освещаются как в учении о месторождении полезных ископаемых, так и в учении об их поисках и разведке. В связи с изучением эндогенных месторождений особый интерес представляет верхний участок земной коры — от поверхности до глубины 6—8 км, где происходит рудоотложение главной массы ценных минералов в период образования месторождений.

Картина деформации однородных пород при прочих равных условиях зависит от глубины, на которой происходила деформация. Одно и то же явление, например образование трещин скальвания, будет морфологически проявляться по-разному в связи с различным объемом расширением пород.

Наблюдения в районах развития рудных месторождений показывают, что с глубиной количество пустот, трещин, брекчий, тектонических глинок и т. п. уменьшается. Тектонические глинки, сопро-

вождающие трещины скалывания. постепенно уменьшаются в мощности и на некоторой глубине исчезают, несмотря на значительную амплитуду перемещений по трещинам. На больших глубинах остаются только структуры течения, а трещины уже отсутствуют. От глубинности деформации зависит и развитие трещин оперения. Последние образуются преимущественно на малых и средних глубинах (обычно не выше 2—3 км).

Изучение трещинной структуры интрузивных пород показывает, что внедрявшаяся масса пород обычно подвергается действиям ориентированных напряжений, особенно в складчатых областях. Даже если процесс внедрения и застывания интрузий происходил на значительной глубине, то породы, вмещающие интрузивные массы, могли увеличиваться в объеме вследствие «освобождения объема» ($\approx 10\%$) застывающими интрузивами.

Уже давно, фактически еще М. В. Ломоносовым, доказаны дорудные, внутрирудные и послерудные деформации. Для эндогенных месторождений главную роль играют дорудные структуры, в то время как для экзогенных — послерудные. Дорудные структуры, в значительной степени определяющие локализацию и форму рудных месторождений, часто создаются, подновляются, усложняются в процессе их последовательного развития.

Исследования в различных рудных районах мира показывают, что трещины в качестве рудоподводящих, рудораспределяющих и рудовмещающих каналов могут служить при условии подновления старых трещин или создания новых. Старые, неподновленные трещины «закупориваются». Поэтому неудивительно, что в рудных полях часто наблюдаются неподновленные трещины: в тех участках, где они не подновлены (или не образованы вновь), рудные месторождения отсутствуют. В рудном процессе часто важную роль играют **д о л г о с у щ е с т в у ю щ и е** и неоднократно подновляющиеся трещины и разломы.

Изучение даек изверженных пород в связи со структурой и локализацией рудных месторождений нужно считать важной задачей, особенно при крупномасштабных работах.

Весьма существенную роль играет изучение даек при исследовании вопроса о последовательности развития структуры рудного поля и установления генезиса месторождений. Причем особое внимание должно уделяться наблюдениям над взаимопересечениями разновозрастных даек, а также даек и рудных жил.

Структуры рудных полей

Структуры рудных полей (и месторождений) могут изучаться только с учетом региональных структур еще больших размеров и по отношению к определенным породам, в которых они развиваются. Почти во всех рудных полях наблюдается несколько видов деформационных структур, влияющих на размещение и локализацию оруденения; с этой точки зрения все структуры являются комбина-

рованными. Целесообразно рассмотреть, однако, основные контролирующие структуры, которые играют решающую роль в размещении эндогенной минерализации (табл. 18).

Таблица 18

Основные типы структур рудных полей

Основные контролирующие структуры	Вмещающие породы	Примеры рудных полей
I. Складчатые	Осадочные и эффузивные	Никитовское (Донбасс), Миргалимсай (Средняя Азия)
II Разрывные		
а) надвиги, взбросы и сдвиги	Осадочные и изверженные	Нерчинско-Заводское поле (Восточное Забайкалье)
б) нормальные сбросы	Осадочные и изверженные	Гуаноюато и Почука (Мексика)
III. Трещинные		
а) осадочные и эффузивные	Осадочные и эффузивные	Холдингкер, Поркупанн (Онтарио, Канада)
б) интрузивные	Осадочные и эффузивные	Балахчинское (Хакасия)
IV Контактные	Осадочные и интрузивные	Саякское (Казахстан)
V. Комбинированные	Осадочные и изверженные	Терекско-Касанское (Средняя Азия)

Под рудным полем (узлом, группой) понимается участок земной коры, включающий серию пространственно сближенных разновозрастных или близких по времени образования и генетически родственных эндогенных месторождений (а также, возможно, еще не обнаруженных или скрытых аналогичных месторождений), обычно отделенный от других рудоносных участков большими, практически безрудными пространствами.

В рудных провинциях мира (подходя к вопросу статистически) примерно 70% всех эндогенных рудных месторождений образуют рудные поля и только 30% приходится на отдельные месторождения. Эмпирическое правило немецких рудокопов, существующее еще с X в. «Ищи руду около руды», подчеркивает эту закономерность.

Под структурой рудного поля подразумевается совокупность структурных элементов в (исторической последовательности развития), влияющих на размещение, локализацию и характер эндогенных месторождений, связанных общностью происхождения.

Структурные закономерности размещения экзогенных месторождений еще плохо вскрыты, но вероятнее всего, что только очень редкие экзогенные месторождения образуют рудные поля, похожие на эндогенные. Обычно в экзогенных месторождениях структурная картина более простая.

Главной целью при изучении рудных полей является установление структур, контролирующих размещение оруденения.

Изучение структур рудных полей является сложной задачей, так как требует установления факторов, контролирующих размещение и характер оруденения. В результате такое изучение должно дать возможность самым дешевым и быстрым способом не только обнаружить все выходящие на поверхность месторождения, но и наметить участки возможной концентрации скрытых рудных тел. Последнее обстоятельство теперь особенно важно.

Складчатые структуры в осадочных и эффузивных породах (см. табл. 18). К осадочным породам (или к осадочным породам, переслаивающимся с эффузивами) приурочены не только отдельные рудные поля, но и целые металлогенические провинции. Обычно эти породы пересечены дайками изверженных пород, что очень помогает расшифровывать историческую последовательность развития структур рудных полей.

Рудные поля часто располагаются в антиклиналях, но нередко встречаются и в синклиналиях структурах, осложняющих антиклинали первого и второго порядков, особенно в их центриклиналиях окончаниях. Так, например, знаменитое Березовское золоторудное поле (Урал) приурочено к синклинали, осложняющей юго-восточное крыло антиклинория.

Ньюхауз пришел к выводу, что в большинстве случаев связь руды со складками является косвенной, мы же стремимся показать рудораспределяющие и рудовмещающие структуры, получившиеся в результате складчатой деформации, как в е д у щ и е, т. е. прямую а не косвенную взаимосвязь отложения руды и типа деформации.

Руководящими деформациями в этом типе рудных полей обычно являются разрывные межпластовые и пластовые трещины, непосредственно генетически связанные со складчатостью. Примером месторождений пластовой структуры является полиметаллическое месторождение Миргалмсай (рис. 30). В тех рудных полях, где крупные протяженные разломы плохо выявляются (что определяется литологической однотипностью пород в разрезе, а часто большой мощностью четвертичных отложений), пластовые структуры даже в начальных стадиях поисков и разведки могут играть основную роль.

Разрывные структуры. Н а д в и г и, в з б р о с ы и с д в и г и в осадочных и изверженных породах. В пределах рудных полей встречаются контролирующие разрывы протяженностью до первых десятков километров и даже больше. Такие разрывные структуры (часто с параллельными им разломами того же типа) известны во многих районах СССР и мира. Наблюдения за этими разломами нередко дают возможность подметить их контролируемую роль в размещении эндогенных месторождений и помогают в обнаружении последних.

Разрывные структуры обладают важным свойством, значение которого подчеркнуто в литературе только в последнее время: они характеризуются развитием сопряженных систем трещин. Речь идет главным образом о двух системах трещин: 1) параллельных главной плоскости разлома и 2) оперяющих трещин отрыва, отходящих от разломов под острым углом, открытым в сторону, обратную движе-

нию блоков. Реже образуется третья система: оперяющие трещины скальвания с острым углом, открытым в сторону относительного движения блоков.

Многочисленными наблюдениями и изучением статистических данных установлено, что сравнительно небольшое количество эндогенных рудных месторождений тяготеет к плоскостям больших разломов; чаще всего они приурочены к относительно мелким нарушениям. Сравнительно редко руды располагаются в надвиговых (взбросовых) и сдвиговых зонах; наоборот, при явлениях надвига и сдвига оруденение часто развивается в зонах трещин, сопряженных с надвигами (взбросами).

Хорошие примеры надвиговых, взбросовых и сдвиговых разрывов, контролирующих оруденение, по которым легко строится эллипсоид деформаций, можно наблюдать в Нерчинско-Заводском и Горно Зерентуйском рудных полях Восточного Забайкалья (рис. 31).

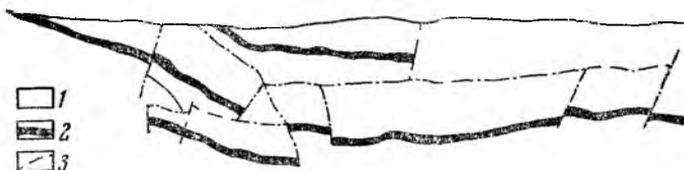


Рис. 30. Схематический разрез участка месторождения Миргалимсай (по материалам рудничной документации)

1 — известняк, 2 — горизонт рудоносного известняка («второй ленточный»), 3 — дизъюнктивные нарушения

Доказано, что Рязановское нарушение представляет собой надвиг (восточного блока на западный). Трехсвятительское — сдвиг (северного блока на 1,5 км к востоку относительно южного).

Данные о надвигах и сдвигах рассматриваемого района, учитывая работы последнего времени, можно подытожить следующим образом:

- 1) надвиги сформировались в период складчатости;
- 2) сдвиговые перемещения моложе складчатости и надвигов;
- 3) все нарушения подновлялись в послегорское время;
- 4) по многим из них интродуцировали молодые кварцевые порфиры и гранодиорит-порфиры;
- 5) размещение оруденения в районе явно контролируется названными нарушениями.

По этим данным эллипсоид деформации может быть ориентирован так: большая ось А вертикальна, средняя В и малая С лежат горизонтально и соответственно ориентированы в северо-восточном и северо-западном направлениях.

На трещинных диаграммах отмечаются выдержанные крутопадающие трещины меридионального и широкого простираний. По генезису они аналогичны широтным и меридиональным сдвигам, ориентировка движения по которым установлена. Если принять это

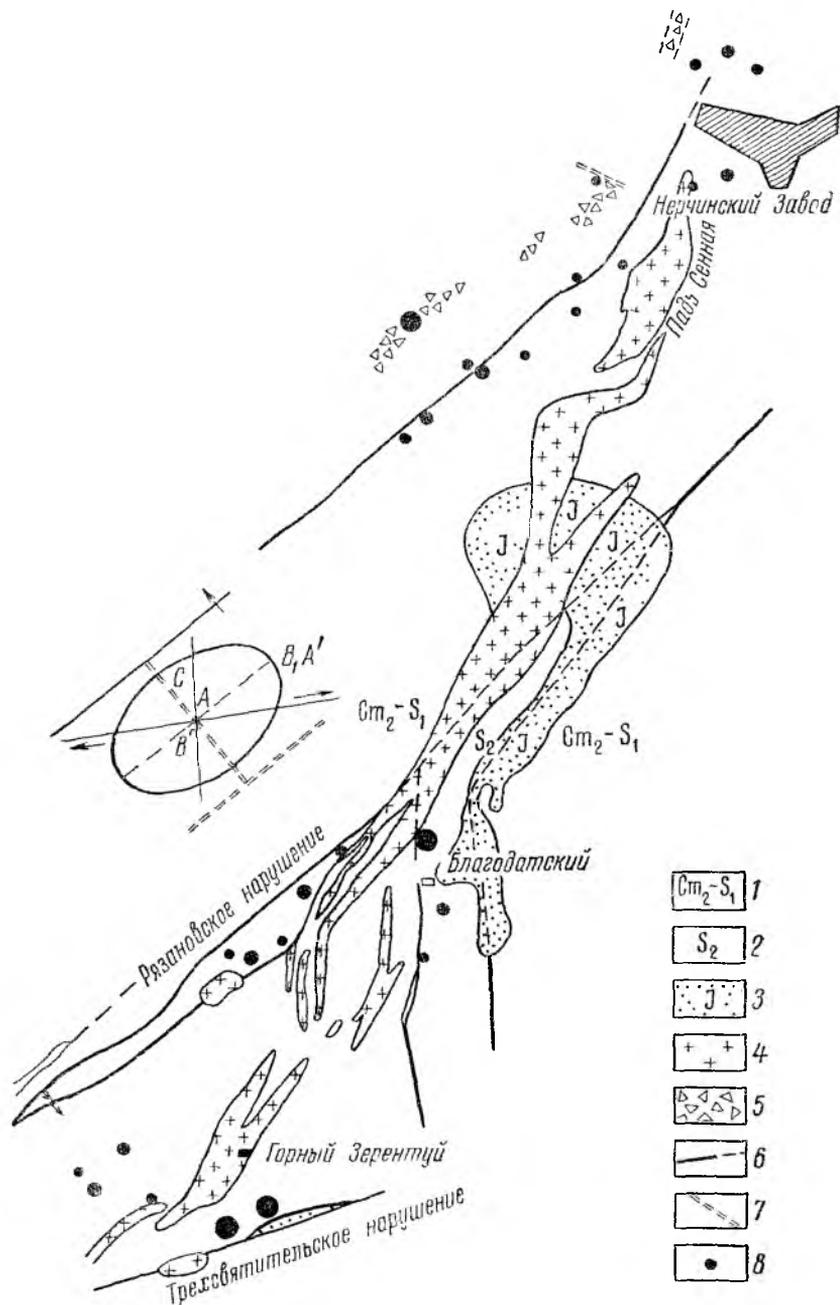


Рис. 31. Схема структуры Нерчинско-Заводского рудного поля (по Н. С. Горшкову)

1 — породы нерчинско-заводской свиты; 2 — породы благодатской свиты, 3 — юрские отложения, 4 — интрузии порфиров и гранодиорит-порфиров, 5 — брекчия, 6 — тектонические нарушения, 7 — направления преобладающей трещиноватости, 8 — месторождения

положение, то в добавление к прежней деформации рисуется довольно отчетливая картина пространственной деформации: большая ось А эллипсоида деформаций ориентирована в северо-восточном направлении и лежит почти горизонтально (раньше была вертикальной), средняя ось В, совпадающая, как обычно, с линией пересечения трещин скальвания, — вертикальна (раньше была горизонтальной). Малая ось С, естественно, занимает прежнее положение, т. е. лежит горизонтально и ориентирована в северо-западном направлении. Все эти трещинные структуры и крупные разрывные дислокации, сопровождающиеся интенсивным брекчированием, создались (или подновились) на небольшой глубине, едва ли превышающей 1000 м от поверхности, что установлено по мощности юрских осадков.

Н о р м а л ь н ы е с б р о с ы в осадочных и изверженных породах. Нормальные сбросы в силу особых условий своего образования характеризуются менее четко выраженными системами сопряженных трещин. В то же время ослабление или прекращение действия сжимающих усилий дает возможность приоткрываться всевозможным другим, ранее заложеным трещинам. Очень характерны подобные структуры для знаменитых рудных полей Мексики, как-то: Гуаноюато, Почука, Эль-Оро и др.

Трещинные и кливажные структуры в осадочных и эффузивных породах. Существует много рудных полей, характеризующихся развитием только трещинных структур и как бы независимых от больших разломов. Очевидно, и рудоподводящими и рудовмещающими структурами здесь являлись трещины определенных систем. Правда, число рудных районов, в которых оруденение контролируется только трещинами, сокращается по мере развития детальных геологических съемок в металлогенических провинциях, обычно устанавливающих большие контролирующие разломы.

Процесс изучения этих структур сводится прежде всего к установлению исторической последовательности образования систем трещин: возникновения, «залечивания», подновления или наложения новых систем трещин на существовавшие ранее. В районах, где крупные структуры одной эпохи складчатости унаследованы от предыдущих, часто и трещинные системы являются унаследованными, только подновленными в процессе новых движений.

В качестве примера рудного поля, где развиты только трещины, можно назвать рудник Холлинжер Поркюпайн (Онтарио, Канада). Здесь рудные месторождения, встречающиеся в вулканических и осадочных породах, представлены сколовыми зонами и разрывными трещинами.

Оруденелые трещины. образовавшиеся в связи с плоскостным или линейным течением в интрузивах, встречаются довольно редко. Примером может служить Балахчино (Хакассия, СССР).

Контактные структуры. Такие структуры часто представлены складчатой, протяженной разрывной или трещинной деформациями. Но специфическое поведение карбонатных пород на контакте с интрузивами гранитоидов порождает обычно образование своеобразных

рудных полей и месторождений. Контролирующей структурой здесь является сам контакт, часто вмещающий железные, медные, вольфрамовые и многие другие типы оруденения. Руда в этом типе рудных полей распространяется не только по контактовой поверхности, но и на несколько сотен метров от контакта, замещает благоприятные слои известняков, контакты секущих даек и все другие разрывные структуры, часто создавая сложные рудные поля.

К контактовому типу можно причислить многие рудные поля Средней Азии и многие зарубежные.

Достаточно типичным примером является Саяк в Казахстане. Саякское рудное поле располагается в пределах одноименной мульды сложенной визейскими осадочными и вулканогенными породами саякской свиты, прорванными герцинскими гранитоидами, с которыми тесно связаны многочисленные дайки различного состава. Саякская мульда вытянута в запад-северо-западном направлении, длина ее около 13 км, ширина до 5 км. Углы падения пород на крыльях мульды 12—35° с тенденцией к выполаживанию на глубине. Значительные осложнения в строении мульды вносят местные аниклинальные перегибы и многочисленные разрывные нарушения, преимущественно дорудные.

Рудные тела приурочены к прослоям известняков так называемой карбонатной толщи, выделяемой в верхней части саякской свиты. Эта толща состоит из одного — пяти горизонтов известняков мощностью от 1—2 до 60—80 м, реже до 120 м, разделенных прослоями алевритоморфных туфов и песчаников мощностью 10—30 м. Общая мощность карбонатной толщи колеблется от 30 до 200 м, возрастая по направлению с запада на восток и с юга на север. Известняковые прослои в экзоконтактовой зоне гранитоидов шириной 2,5—3,0 км превращены в разнообразные скарны (преимущественно пироксен-гранатовые) и мраморы. При этом скарны и приуроченные к ним метасоматические медные и медно-магнетитовые руды располагаются в основном в наиболее сложных в тектоническом отношении частях рудного поля.

На месторождении выделяется два типа рудных тел, отличающихся по форме и условиям залегания: 1) выдержанные крутопадающие жиллообразные тела сложной формы с раздувами и ответвлениями, залегающие на контакте гранитоидов с породами карбонатной толщи, и 2) пологозалегающие согласные пластовые и линзообразные залежи различных размеров, приуроченные к горизонтам скарнов и скарнированных известняков.

Комбинированные структуры в осадочных и изверженных породах. Во многих рудных полях встречаются сочетания складчатых структур с разрывными и трещинными структурами. Если же оба основных вида деформации имеют контролирующее значение, то приходится говорить о комбинированных структурах. Элемент комбинирования структур встречается в каждом поле. В качестве примера можно назвать Терекско-Касанское рудное поле в Средней Азии.

К комбинированным структурам можно условно причислить весьма оригинальные структуры, связанные с прорывом газов или гидростерии. Локализация этих явлений часто связана с разнообразными трещинами их пересечениями, контактами осадочных и интрузивных пород, нектрами, «галечными» дайками и трубами и др. Таких примеров много в Аризоне, США и особенно в Северной Мексике.

Структуры рудных полей хорошо отражаются на картах масштабов 1 : 10 000—1 : 5000, реже 1 : 25 000 и 1 : 2000, поэтому они обычно целиком выявляются в поисково-разведочную стадию.

Структуры рудных месторождений

Под структурой эндогенных месторождений понимается совокупность структурных элементов, определяющих форму месторождения и влияющих на его локализацию. Это определение отражает практическое значение изучения структур месторождений, в котором ведущую роль играет выявление ф о р м ы

Генезис формы эндогенных месторождений находится в прямой зависимости от типа структур; даже мельчайшие детали деформации вмещающих пород часто сказываются на морфологии месторождений.

Влияние структуры на локализацию рудных месторождений и на образование рудных полей проявляется по-разному. При изучении рудных полей различают рудоподводящие и рудораспределяющие структуры, помогающие обнаружить в данном поле все пункты оруденения. При изучении месторождений анализируют рудовмещающие структуры, которые и определяют морфологию рудных тел.

Итак, главной задачей изучения структур рудных месторождений можно считать установление генезиса формы (стереогенез) со всеми осложнениями, связанными с внутриминерализационными и послерудными движениями. Обычно выяснение всех деталей формы месторождений происходит в процессе разведки.

В табл. 19 приведены основные структуры и формы эндогенных месторождений, знание которых помогает производству поисково-разведочных работ.

Приведенная систематика полезна при первоначальном изучении месторождений и имеет большое значение для поисков рудных тел и месторождений, не выходящих на поверхность.

Структуры экзогенных месторождений

Структуры рудных полей и месторождений экзогенного происхождения, к сожалению, в геологической литературе освещены слабо.

Здесь можно упомянуть только о месторождениях в крепких породах (диагенезированных или метаморфизованных). Для всех осадочных месторождений, обычно имеющих форму пластов, важны, так сказать, «послерудные» структуры. Последние представляют собой пласты полезных ископаемых, собранные в складки того или иного

Основные структуры и формы эндогенных месторождений

Положение месторождения по отношению к структуре	Основные формы рудных тел	Примеры месторождений
I. Складчатые структуры		
1. Месторождения в «благоприятных» горизонтах	Рудные «пласты», согласные пластообразные залежи	Чамбиши (Северная Родезия)
2. Межпластовые месторождения в крыльях складок	Пластовые жилы, пластовые оруденелые брекчи	Аурахмат (Средняя Азия), Северный Арканзас (США)
3. Месторождения в шарнирных частях антиклиналей и куполов	Седловидные жилы	Новая Шотландия (США)
4. Месторождения в участках дробления диапировых складок	Пластообразные и штокообразные залежи	Зыряновское (Алтай, СССР)
5. Месторождения в зонах «расслоения» блоктированных складок	Сложные пластовые и пластообразные тела	Хайдаркан (Средняя Азия, СССР)

II. Разрывные структуры

1. Месторождения в зонах крупных надвигов	Жилы типа глубоко идущих крутых рудных столбов	Материнская жила (Калифорния, США)
2. Месторождения в зонах крупных сбросов	Жилообразные залежи, сложные жилы, иногда сопровождаемые штокверками	Эль-Оро (Мексика)
3. Месторождения в малоамплитудных сдвигах и взбросах	Жилы со сложным распределением рудных столбов	Кулуджун (Алтай, СССР)
4. Месторождения в малоамплитудных сбросах	Сложные жилы с разветвлениями, оруденелые зоны и участки дробления	Пешпин (Англия)

III. Трещинные структуры

1. Месторождения в трещинах скальвания одной системы	Простые и разветвляющиеся жилы, приуроченные к трещинам одного направления	Кёр-д-Элен (США)
2. Месторождения в трещинах скальвания двух систем	Простые и разветвляющиеся жилы, приуроченные к двум системам трещин	Грасс-Вэлли (США)
3. Месторождения в трещинах скальвания трех и четырех систем	Простые и разветвляющиеся жилы, приуроченные к трем и четырем системам трещин	Фреибург (ГДР)
4. Месторождения в зонах скальвания	Сложные жилы, часто сопровождающиеся вытянутыми штокверками	Татишань, Сихуашань (Китай)

Положение месторождения по отношению к структуре	Основные формы рудных тел	Примеры месторождений
5. Месторождения в мелких трещинах отрыва	Рубцовые жилы, про- стые жилы	Готтлиб, Моргенганг, Фрейберг (ГДР), Мазарон (Исландия)
6. Месторождения в разрывах, связанных с линейной ориентировкой в интрузивах	Ветвящиеся жилы, иногда скорлупообразные жилы	Циннвальд (Чехословакия)

IV. Кливажные микротрещинные структуры

1. Месторождения в зонах расслаивания и проявления кливажа течения	Жилообразные сложные зоны	Пылиминско-Ключевское (Урал, СССР)
2. Месторождения в участках и зонах развития микрогребниватости и кливажа разрыва	Сетчатые жилы, штокверки	Тарбальджей (Восточное Забайкалье СССР)

V. Контактные структуры

1. Месторождения в контакте известняков и интрузии	Пластообразные залежи и линзы; форма часто усложнена метасоматозом	Ингичке (Средняя Азия, СССР)
2. Месторождения вблизи контакта	Жилы, короткие пласты, гнезда; рудные тела подчинены трещинам и крайне усложнены метасоматозом	Койташ (Средняя Азия, СССР)

VI. Трубочатые и другие сложные структуры

1. Месторождения в простых трубчатых структурах	Трубочатые тела	Трубы Рустенберга (Бушвельд, ЮАР)
2. Месторождения в сложных трубчатых структурах	Сложные штоки и штокверки	Браден (Чили), Клаймакс (Колорадо, США)

типа. Эти вопросы с должной полнотой разбираются в курсах структурной геологии.

Некоторые месторождения выветривания ассоциируются с тем или иным видом трещин во вмещающих породах. Эти трещины и обусловленные ими типы структур аналогичны описанным для эндогенных месторождений.

Некоторые вопросы практических наблюдений за структурами

При полевых наблюдениях нередко можно выделить пять этапов деформаций: 1) доинтрузивный, 2) послеинтрузивный (он же обычно додайковый), 3) дорудный (последайковый), 4) внутрирудный и 5) послерудный. Иногда додайковый и дорудный этапы повторяются два раза. В ряде районов СССР (например, Западная Сибирь) устанавливается этап послерудных деформаций, относящийся порой уже к новой эпохе диастрофизма.

Методика изучения различных структур рассматривается в курсе структурной геологии. Учение о поисках и разведке интересуется главным образом оценкой этих структур в смысле их рудоносности попутно при производстве крупномасштабных геологических съемок рудных полей и месторождений.

При изучении складчатых структур важны наблюдения за многими «структурными мелочами» — мелкими складками, плейчатостью, складками волочения, деталями изгибания и брекчирования пластов, их контактами, сланцеватостью. При этом выясняется положение осевой плоскости складок и ориентировка их оси, поведение пород в шарнирных зонах, масштаб внутрипластовых движений и брекчирования пород.

При изучении разрывных нарушений, связанных с тем или иным перемещением, особое внимание должно уделяться трещинам оперения (отрывным и сколовым), а также определению последовательности и относительного возраста движений по разрывам и признакам повторных подвижек. При статистическом изучении трещин, кроме изучения проблемы объемного расширения пород и их анизотропии, целесообразно широко пользоваться теоретическими представлениями об эллипсоиде деформаций. Чаще в практике фигурирует пространственный эллипсоид, с помощью которого объясняется последовательное (а не одновременное) появление трещин. Для этого следует еще в полевых условиях составлять трещинные диаграммы на сетке.

При использовании общих геологических методов наблюдения и последующего анализа нужно при детальном изучении пользоваться петротектоникой (метод Зандера) для: 1) выяснения генезиса складчатости (складки скольжения или скалывания), 2) изучения внутреннего строения интрузивных, а также метаморфических пород, 3) установления типов разрывных структур и характера движения по ним, 4) определения относительного возраста рудных жил, даек и т. д.

3. ПОИСКИ СКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Литература последних лет отражает интерес к погребенным (особенно россыпным) и к следам, т. е. никогда не выходящим на поверхность месторождениям, которые вместе составляют группу так называемых скрытых месторождений.

Анализ вопроса о скрытых месторождениях нужно начинать с установления, находится ли данный участок земли в приподнятом или погруженном блоке земной коры. Почти столь же важно выяснить, является ли данный район открытым или закрытым, т. е. перекрытым чехлом дальнепринесных молодых отложений той или иной мощности.

Скрытые месторождения не только обнаружены, но и эксплуатируются почти во всех странах (речь идет, конечно, о твердых полезных ископаемых; месторождения нефти и газа практически всегда относятся к типу скрытых месторождений).

К рассматриваемой категории скрытых месторождений принадлежат многие каменноугольные районы и даже бассейны. В частности, весь Саарбрюкенский каменноугольный бассейн перекрыт надвинутыми породами, не говоря уже о месторождениях, погребенных под мощными молодыми, чаще всего четвертичными отложениями.

Можно назвать и ряд скрытых железорудных месторождений, типа Курской магнитной аномалии, погребенных не только под молодыми породами, но даже под отложениями мезозоя. Практически на Русской платформе с ее горизонтальным залеганием пластов к типу скрытых месторождений при широком толковании вопроса можно отнести не только меловые фосфориты, но и многие месторождения глин, песков и т. д., так как они закрыты молодыми породами и при отсутствии глубоких рек и оврагов на поверхности не обнажаются.

Погребенные россыпи найдены и частично отработаны во всех крупных зарубежных и отечественных районах россыпей (Забайкалье, Алдан, Лена и др.).

По определению Ю. А. Билибина, к погребенным относятся россыпи, «... которые через некоторое время после своего образования были перекрыты какими-либо более молодыми породами, образование которых не является неразрывно связанным с процессом образования самой россыпи». Иногда эти россыпи перекрыты молодыми эффузивами, но чаще всего — аллювием.

Слепые месторождения наиболее трудны для их обнаружения, и здесь, кроме минералого-геохимических индикаторов, на первое место выступают те же поисковые критерии, которые вообще применяются к эндогенным месторождениям: структурные, магматогенные, стратиграфические и т. д. Естественно сделать вывод: нужно изучать «открытое» оруденение, чтобы получить ключ к скрытой минерализации.

Чем детальнее изучена последовательность геологических событий в районе, тем легче обнаружить в нем любые месторождения.

Поиски скрытых месторождений на закрытых площадях — дело дорогое и трудное. Значительно легче искать эти месторождения на открытых площадях. Поиски погребенных экзогенных месторождений в таких условиях опираются на стратиграфические, фа-

циально-литологические, тектонические, геофизические и геоморфологические (россыпи) критерии.

Погребенные экзогенные месторождения бывают перекрыты не только молодыми рыхлыми отложениями, но и уплотненными породами, часто мезозойского возраста. Полноценные геологические съемки с выявлением геологических поисковых критериев со структурным или картировочным бурением обеспечивают выявление погребенных месторождений.

Выявление многочисленных и разнообразных экзогенных месторождений (углей, сланцев, железа, марганца, бокситов, фосфоритов, солей, серы и др.) обычно облегчается их значительными размерами, пластовой формой и относительно широким площадным распространением.

Во много раз сложнее выявлять «трудные» месторождения эндогенного генезиса.

В последнее двадцатилетие обнаружены скрытые тела во многих районах Советского Союза: на Урале, Алтае, в Средней Азии, Восточном Забайкалье и т. д. При поисках их иногда руководствовались приуроченностью оруденения к определенному типу пород, но чаще — к определенному структурному ярусу (на Алтае, например, к среднему структурному ярусу, представленному эффузивно-осадочным комплексом пород девона, смятых в пологие складки).

В зеленокаменной полосе Урала уже в конце 20-х годов были найдены скрытые медноколчеданные рудные тела; с 30-х годов эти находки участились, и к настоящему времени здесь обнаружены десятки скрытых месторождений и рудных тел.

В последние годы на Южном Урале металлотрической съемкой масштаба 1 : 50 000 выявлено 800, а гидрохимической — 200 аномалий (Г. Н. Засухин, Л. А. Логинова, 1963 г.). На основе этих аномалий обнаружены скрытые колчеданные месторождения и отдельные рудные тела.

Так, на западном склоне горы Таш-Тау металлотрическая аномалия размером 200 × 600 м имела следующее содержание металлов в эпицентре (в %): Cu 0,02; Zn 0,02; Mo 0,005 и Ba 0,05. Вмещающие породы здесь представлены слегка смятыми кислыми и основными эффузивами. Аномалия была проверена скважинами: первая из них — скв. 470 (рис. 32) пересекла на глубине 100 м зону сульфидной вкрапленности, а вторая — скв. 482 на глубине 70 м вскрыла рудное тело. В результате была обнаружена рудная зона северо-восточного простирания длиной 4 км. Над этой зоной отмечено несколько аномалий размером от 50 × 100 до 200 × 1000 м.

Дальнейшие работы в этом районе позволили установить, что вторичный ореол рассеяния связан с первичным ореолом минерализации. Глубинность поисков слепого оруденения здесь около 70 м. Вторичный ореол рассеяния распространяется на глубину от 0,5 до 6 м от поверхности. При прослеживании первичного ореола здесь открыто несколько рудных тел.

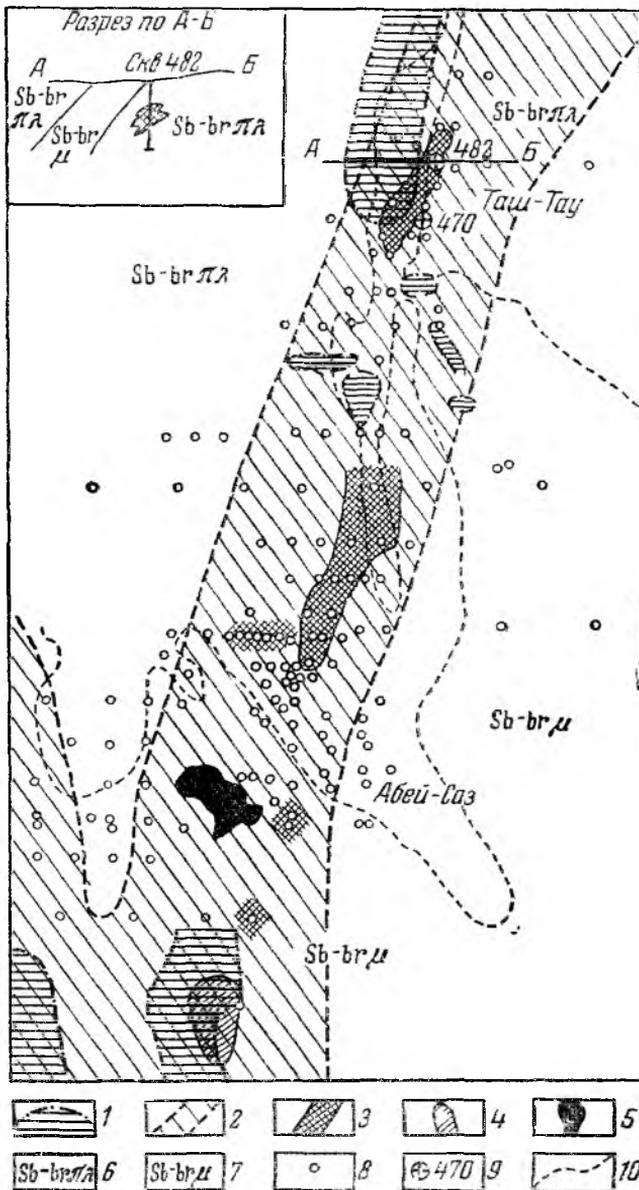


Рис. 32. Схематический металлогенетический план участка месторождения Таш-Тау (по материалам Н. К. Паливоди)

1⁷ — металлогенетические аномалии в точках, 2 — первичный ореол рассеяния по данным металлогенетического опробования скважин, 3 — рудные тела, открытые благодаря применению металлогенетики, 4 — бурые железняки пильного типа, 5 — ранее известные рудные тела, 6 — кварцевые плагипорфиры баймак-бурибаевской свиты, 7 — порфириды и их туфы баймак-бурибаевской свиты, 8 — буровые скважины, 9 — первые скважины, вскрывшие рудное тело Таш-Тау, 10 — геологические границы

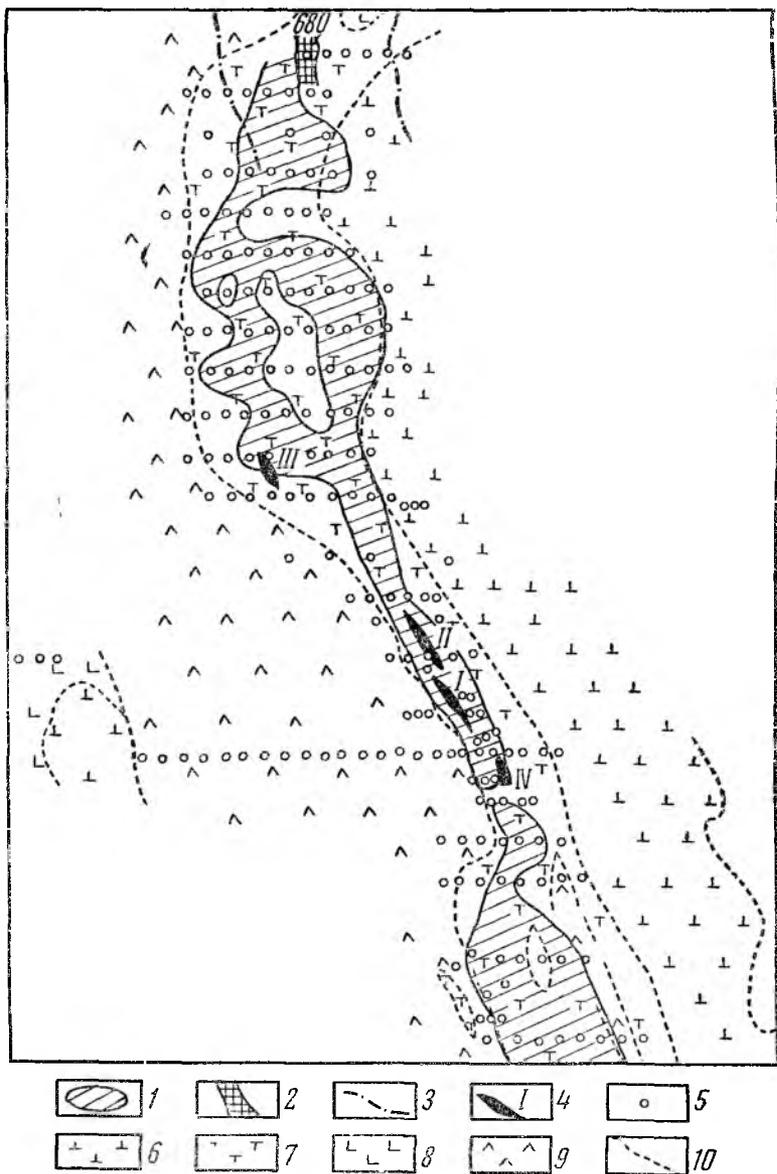


Рис. 33. Схематический план первичного ореола рассеяния Маканской полосы (по материалам В. П. Грунвальда)

1 — первичный ореол рассеяния, 2 — древний лог и металлометрическая аномалия в рыхлых отложениях, 3 — электроразведочные аномалии, 4 — рудные залежи, 5 — буровые скважины, 6 — кварцевые альбитофары и их туфы, 7 — альбитофары и их туфы, 8 — плагиоклазовые порфиры, 9 — спилиты и их туфы, 10 — геологические границы

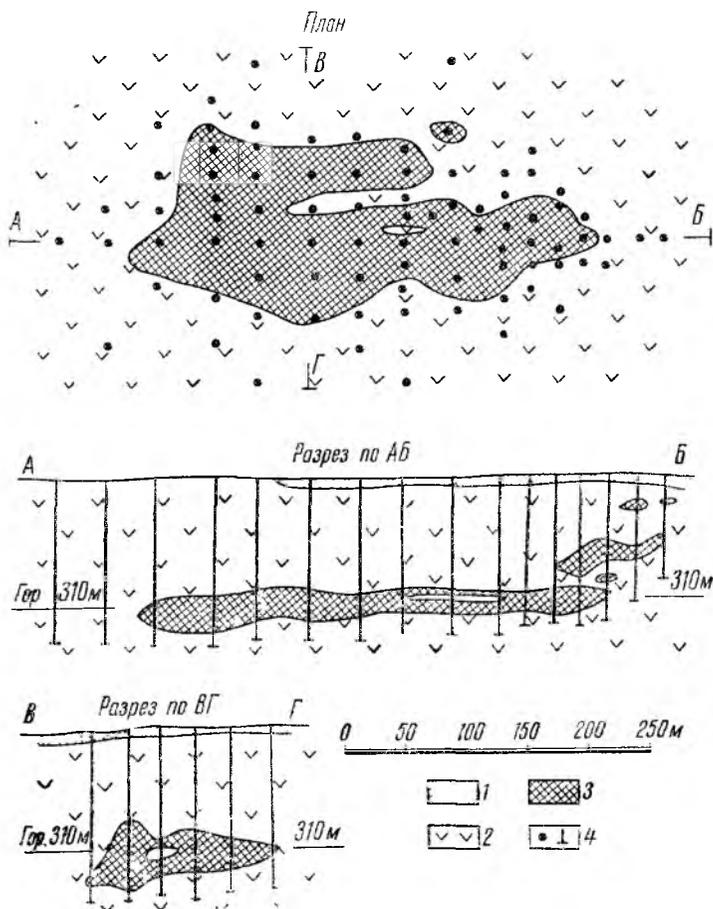


Рис. 34. Геологический план горизонта 310 м, продольный и поперечный разрезы через одно из хромитовых месторождений Донской группы на Южном Урале (по К. Т. Лазареву).

1 — рыхлые мезо-кайнозойские отложения, 2 — дунитовые серпентиниты, 3 — хромитовые руды, 4 — скважины колонкового бурения

В районе Маканского месторождения (рис. 33) выявлению рудных тел помогло применение гидрогеохимического метода. Месторождение Озерное было открыто на глубине 200 м по аномалии, в эпицентре которой содержание меди составляло 0,07%, а также присутствовали Pb, Ag и Ni.

Кроме колчеданных месторождений, в 50-е годы были обнаружены эндогенные месторождения и иного генезиса. Так, например, одно из хромитовых месторождений на Южном Урале (рис. 34) открыто в результате проверки аномалии, установленной в процессе вариометрических работ.

В последние годы в СССР выявлен ряд крупных эндогенных железорудных месторождений, из которых особого внимания заслуживает крупнейшее Сарбаевское месторождение, залегающее под мощным покровом отложений Тургайского прогиба (рис. 35).

Приведенные примеры «руднооткрываемых» рудных тел достаточно убедительно доказывают, что при поисках описываемых

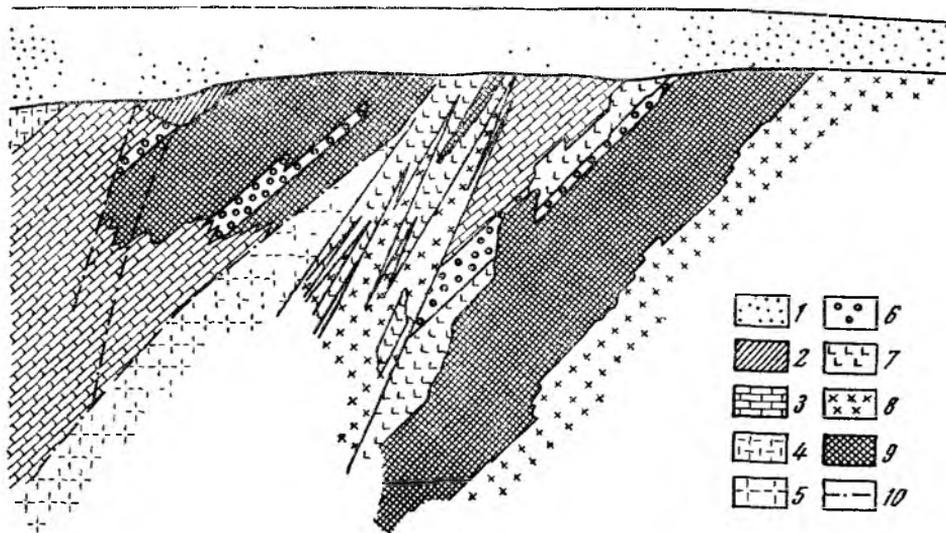


Рис 35 Схематический геолого-литологический профиль Сарбаевского месторождения (из сб. «Железорудная база черной металлургии СССР»)

1 — мезо-кайнозойские отложения, 2 — глины древней коры выветривания палеозойских пород (элювий) 3 — известняки, 4 — туфобрекчии альбитофиров, 5 — сиениты и сиенит-порфиры, 6 — гранатовые и пироксеновые скарны, 7 — роговики плотного (афанитового) сложения, 8 — диорит-порфиры скарнированные 9 — рудные залежи, 10 — зоны дизъюнктивных дислокаций

месторождений нужно использовать все поисковые критерии. Последние должны быть выявлены при крупномасштабной геологической съемке.

От детальности и обоснованности геологических карт и разрезов к ним зависит успех поисковых работ. Геологические карты должны не только отображать геологическую историю района (стратиграфию, тектонику, вулканизм, геоморфологию), но и давать представление об его строении в трех измерениях.

В настоящее время от составителей геологической карты требуется построение возможно большего числа детальных разрезов к карте, не говоря уже об отображении на ней поисковых критериев и признаков.

При рассмотрении скрытых эндогенных месторождений, обнаруженных в различных районах СССР и за рубежом, обращает на себя внимание огромное значение структурных условий и в первую очередь

различных контактов, особенно тектонически ослабленных. На второе место в смысле влияния на локализацию скрытых месторождений нужно поставить литологический состав пород.

Для поисков скрытых тел, кроме общегеологических данных и четких поисковых критериев, часто необходимо пользоваться поисковыми признаками. Такими признаками в данном случае могут служить только первичные и вторичные ореолы рассеяния.

Первичные ореолы в равной степени создаются и легко- и труднооткрываемыми месторождениями, этим ореолам всегда необходимо уделять очень большое внимание.

Нередко первичные ореолы рассеяния пространственно и генетически совпадают с зонами гидротермально измененных пород. В последнем случае желательно предварительно знать, с каким типом изменения боковых пород связана продуктивная стадия минерализации, а также ее положение во времени по отношению к оруденению. Наилучшими индикаторами скрытого оруденения являются те разновидности измененных пород, которые содержат комплекс минералов, образовавшихся в продуктивную стадию минерализации, например серицит плюс хлорит, доломит плюс барит и т. д.

Некоторые авторы называют разные геохимические данные, а также минералы, которые как бы свидетельствуют о наличии соответствующей минерализации на глубине. Так, В. В. Аристов отмечает образование топаза над вольфрамо-оловянными слезными месторождениями. В. П. Федорчук указывает на киноварь и аурипигмент как на индикаторы скрытого на глубине полиметаллического оруденения. В. И. Бирюков отмечает, что присутствие в надрудных метаморфизованных породах графита и гремолита является свидетельством наличия на глубине скрытых свинцово-цинковых залежей. Бариты с высоким содержанием серебра в Карпатах оказались залегающими в одних и тех же грейсинах со свинцовыми рудами (данные Г. Г. Сасина).

Эффективными методами поисков скрытых месторождений являются геофизические. Иногда могут даже намечаться стандарты для последовательного применения тех или иных геофизических приемов в различных типизированных условиях.

Проверка геофизических аномалий может быть проведена только на фоне строгого учета всех геолого-минералогических данных.

Для труднооткрываемых месторождений нужно широко использовать геохимические методы поисков и в первую очередь наиболее глубокие из них.

Буровая проверка участков, выделенных на основании геолого-структурных, геофизических и геохимических данных, может производиться по профилям или по сетке — в случае изометричного тела и аномалии.

Нужно подчеркнуть, что какие-либо общие рекомендации в отношении первых скважин, закладываемых при поисках скрытых

месторождений, едва ли можно дать, и ценность таких советов-рецептов весьма сомнительна. Для выявления этих месторождений нужна возможно более детальная геологическая изученность района, глубокое знание генезиса месторождений, их промышленных типов и всей методики их поисков. Для организованного проведения работ желательно иметь карту прогноза, отражающую структуры, благоприятные для оруденения. Главной основой такой карты является геологическая карта с разрезами к ней; условными обозначениями на прогнозной карте показываются важнейшие данные и, наконец, выделяются прогнозные площади.

4. ОЦЕНКА ВЫХОДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Геолого-минералогическая оценка измененных гипергенными процессами выходов* сводится к анализу минерализованного тела, вскрытого выработками или выходящего на поверхность, что позволяет получить приближенное представление о его форме, составе первичных руд и характере вторичных зон.

Основная задача этой оценки в процессе поисков или поисково-разведочных работ заключается в том, чтобы еще в полевых условиях с очень малыми затратами времени и средств выявить перспективы найденного минерализованного участка в качественном и количественном отношении. Для решения этой задачи необходимо не только уметь распознавать минералы, но и использовать всю геологическую обстановку, а также ландшафтные условия, в частности климат.

Если при поисках конечной целью является обнаружение рудопроявления, то при вскрытии выходов на поисково-разведочной стадии требуется установить промышленный тип выявленного месторождения, решить вопрос о целесообразности разведки этого месторождения и дать ему перспективную оценку.

В недалеком прошлом важнейшее значение имела визуальная оценка рудных выходов как единственный путь к их пониманию без специальных разведочных затрат. В настоящее время геофизические и геохимические методы несколько упрощают задачу, но не исключают необходимости визуальной оценки выходов. При всех условиях надо учитывать, что выходы месторождений в зоне гипергенеза очень изменены и обычно мало сходны с обликом тела полезного ископаемого в первичной зоне, что весьма затрудняет их интерпретацию.

В главе II кратки освещены кора выветривания, ее морфолого-генетические типы, а также общие и локальные факторы, влияющие

* Под «выходом» месторождения здесь подразумевается обнажение его не только на поверхности, но и под наносами небольшой мощности.

на ее характер. В частности, упомянуты зоны обеления и окисления, являющиеся разновидностью линейных или локальных кор, которые нужно рассматривать как частный случай коры выветривания.

По И. И. Гинзбургу, зона обеления создается в результате выщелачивания кислотами гидроокислов или в результате выветривания с образованием монтмориллонита, каолиновых и гидрослюдастых глин. К металлосодержащим минералам коры выветривания (зоны железной шляпы) относятся: 1) остаточные сульфиды; 2) нерастворимые сульфаты, основные сульфаты, фосфаты, арсенаты, ванадаты, гидросиликаты; 3) карбонаты и основные карбонаты меди, свинца, цинка, 4) глины, в особенности монтмориллонитовые, сорбирующие цинк, отчасти свинец и медь, и некоторые другие элементы; простые и сложные окислы марганца, железа и свинца, а также некоторые другие минералы.

Наибольший интерес при оценке выходов представляют процессы окисления, происходящие в сульфидных месторождениях *. Поэтому здесь довольно детально освещен оценочный подход к выходам сульфидных месторождений, а выходы силикатных, карбонатных и других месторождений только упоминаются.

Зона окисления сульфидных месторождений постепенно освобождается от серы и большинства тяжелых металлов, и на месте остаются те же соединения, которые появляются в результате выветривания силикатов, т. е. SiO_2 , Fe_2O_3 , MnO_2 , Mn_2O_3 и Al_2O_3 в различных сочетаниях между собой и с водой. Каждый выход окисленной зоны может находиться в разной стадии окисления, начиная с момента, когда сульфиды слегка затронуты окислением, и кончая стадией полного исчезновения серы и тяжелых металлов.

В каком бы порядке ни окислялись сульфиды, они проходят обычно сульфатную стадию, а некоторые сульфаты металлов сравнительно легко растворяются в воде. Чем выше кислотность вод в зоне окисления, тем к большему выщелачивающему действию они способны и тем выше степень их насыщенности различными солями, в частности сульфатами. В результате многие элементы выносятся из зоны окисления, причем резко сказывается тенденция их к рассеянию.

Основным препятствием выноса металлических элементов из зоны окисления, кроме состава проникающих вод, являются жильные минералы и вмещающие породы, способные вступать во взаимодействие с растворами, например понижать их кислотность (карбонаты) или адсорбировать катионы металлов.

Кроме тенденции к рассеянию, в зоне окисления проявляется способность многих металлов, часто неразрывных в гипогенном

* Этому вопросу посвящена специальная весьма ценная работа С. С. Смирнова «Зона окисления сульфидных месторождений», изд. 2. Изд-во АН СССР, 1951.

цикле, к разделению. К таким металлам относятся свинец и цинк, медь и железо и в меньшей степени некоторые другие.

В ряде случаев зона окисления содержит крайне незначительное количество металлов по сравнению с рудами первичной зоны (например, в некоторых месторождениях цинка, никеля, кобальта, урана — радия). Изредка наблюдается обратная картина, т. е. обогащение зоны окисления, когда за счет выноса других компонентов увеличивается среднее содержание золота, серебра, олова, тантала, вольфрама, свинца. Некоторые полезные минералы, такие как ванадинит и вульфенит, концентрируются только в зоне окисления.

В оценочном отношении исключительное значение имеют вопросы технологической обработки руд зоны окисления, так как полезные минералы этой зоны обладают совершенно другими свойствами по сравнению с сульфидными рудами. Технология руд зоны окисления разработана весьма слабо, а для некоторых минералов совсем не разработана. Окисленные цинковые, никелевые, мышьяковые, сурьмяные и молибденовые руды с низким содержанием металла практически не используются. Наоборот, касситерит, благородные металлы, в частности золото, в зоне окисления часто переходят в «свободное» состояние и легко извлекаются при обогащении.

Особое значение имеет «поверхностный слой» месторождения, выделяемый американскими геологами группы Локка. Мощность этого слоя значительно колеблется, в общем же находится в пределах первых десятков сантиметров. Поверхностный слой подвергается непосредственному воздействию атмосферы, биосферы, различным механическим воздействиям и поэтому качественно резко отличается от участков, расположенных ниже. Даже малоподвижные соединения свинца, сурьмы, висмута и других металлов нередко бывают нацело удалены из поверхностного слоя. Поэтому единственно целесообразным приемом при изучении и оценке выходов является удаление поверхностного слоя. При разведке выходов жил это легко сделать путем дополнительного углубления канав ниже наносов приблизительно на 0,3—0,5 м. При площадном изучении сплошных обнаженных оруденелых площадей этот слой снимается во многих точках.

Зона вторичного обогащения сульфидов играет огромную роль в промышленной оценке медных месторождений, особенно прожилково-вкрапленных меднопорфировых руд. Наблюдается также вторичное обогащение серебра и кадмия.

Характер зон в связи с изменениями климата, рельефа и т. д. меняется. Понижение уровня грунтовых вод иногда приводит к окислению зоны вторичного обогащения (зона «окисного обогащения»), а поднятие — к консервации и наложению вторичных сульфидов на полукислотные руды.

Минералогические способы оценки выходов рудных месторождений. Первой задачей, которую необходимо решить на каждом месторождении, обнаруженном при поисках, является установление химических элементов и, если возможно, минералов, присутствующих

в месторождении. Определяя элементарный состав зоны окисления, мы тем самым (зная геохимию элементов) получаем грубое представление о составе первичных руд (а также зоны вторичного обогащения, если в рудах присутствуют медь, кадмий и серебро).

Для некоторых малоподвижных элементов по процентному содержанию их в зоне окисления иногда можно судить и о первичных рудах, но для легко мигрирующих металлов (уран, цинк, медь, молибден, никель, кобальт) эта задача трудная. Особенно трудно судить о минеральном составе некоторых первичных руд, так как один и тот же металл может появиться в зоне окисления в результате разложения различных первичных минералов.

Основной задачей изучения выходов сульфидных месторождений является установление качественного (элементарного и минерального) и количественного состава зоны окисления (глубины и характера этой зоны) и восстановление по данным зоны окисления качественного и ориентировочно количественного состава первичных руд.

Эта задача решается двумя способами: 1) путем химического опробования выходов и 2) путем изучения минерального состава и структурно-текстурного анализа рудного материала. Оба эти способа должны применяться всегда, они не исключают друг друга не только в поисковой, но и в разведочной стадии изучения месторождения.

Опробование выходов, выполняемое по определенным принципам, позволяет установить процентное содержание некоторых металлов в окисленных рудах, но не дает достоверного представления о содержании тех элементов, которые полностью или частично мигрировали из зоны железной шляпы; наличие таких элементов весьма затрудняет интерпретацию первичных руд. Изучение минерального состава и структурно-текстурных особенностей окисленных руд является важнейшим и иногда универсальным методом, применяемым при оценке выходов. Важность такого изучения подчеркивается еще тем обстоятельством, что этим путем можно без всяких затрат непосредственно в полевой обстановке получить ориентировочное представление о промышленном значении месторождения и сделать из этого необходимые организационные, геологические и экономические выводы.

Изучение рудного материала выходов заключается в выявлении: 1) остаточных первичных минералов, 2) гипергенных минералов зоны окисления, 3) структуры, а иногда цвета и минералогических особенностей лимонитов, 4) пустот от выщелоченных первичных минералов, 5) псевдоморфоз по первичным минералам. Роль и значение каждого из указанных элементов, изучаемых качественно и количественно, зависят от местных условий.

Количество остаточных первичных минералов колеблется в самых широких пределах: от единичных, едва заметных на глаз зерен среди сплошь окисленного материала

до абсолютного преобладания, когда руды слабо затронуты окислением. Если руды мало окислены, то оценка их, даже количественная, очень несложна. Для установления количественных соотношений отдельных минералов достаточно на вскрытых поверхностях (в канавах, шурфах, расчистках) произвести суммарный площадной обмер рудных и жильных минералов.

Возможность быстрого выполнения дешевых спектральных анализов очень облегчает всю работу по оценке выходов.

Между слегка окисленными рудами и почти нацело окисленными, содержащими остаточные сульфиды, имеются всевозможные переходы, а нередко в окисленных рудах остаточные сульфиды совершенно отсутствуют.

Изучение гипергенных минералов выходов дает возможность судить о качественном элементарном составе окисленных и первичных руд, но количественная сторона вопроса расщифровывается редко и с трудом. Полноценная расщифровка количественных соотношений некоторых малоподвижных металлов может быть получена методом опробования.

Изучение гипергенных минералов совместно с опробованием является главнейшим орудием при оценке выходов.

Для полевой оценки выходов достаточно знать наиболее характерные, часто встречающиеся или, как их называют, т и п о м о р ф - н ы е, минералы зоны окисления; детальное изучение всего списочного минерального состава выполняется в камеральный период. Заметим, кстати, что термический анализ лимонита по соотношению, например, гётита и лепидокрокита помогает установить его происхождение; например, в свинцовоцинковых месторождениях в железной шляпе преобладает гётит.

Структуры лимонитов, а также их цвет являются иногда единственным показателем для оценки по железным шляпам исходных первичных руд. Окисление некоторых выходов заходит настолько далеко, что в железной шляпе не остается ни первичных сульфидов, ни даже гипергенных рудных минералов, кроме лимонитов, фиксирующихся на месте бывших сульфидов. Изучение этих лимонитов может иногда помочь не только в качественной, но и в количественной интерпретации исходных руд.

Р. Блэнчард и П. Босуэлл различают три вида лимонитов*: 1) местные, или индигенные, 2) транспортированные и 3) экзогенные. Последние происходят из неизвестных источников. Наиболее важен, с оценочной точки зрения, местный лимонит, образовавшийся на месте разложившегося первичного сульфида. Железо лимонита образуется за счет самого сульфида, а если последний был представлен минералом, не содержащим железа, как, например, галенит, молибденит и отчасти сфалерит, — за счет внешних источников.

* Во всех случаях под названием «лимонит» подразумевается сочетание преимущественно гидроокислов железа (ряд гётита с различными примесями кремнекислота).

Американские исследователи придают изучению структур местных лимонитов большое значение; по мнению большинства советских геологов, они несколько переоценивают этот путь.

В трещинах, поражающих сульфидные зерна, создается устойчивый кремнисто-лимонитовый (иногда с гипсом, нонтронитом и др.) ячеистый скелет (рис. 36), несколько позднее в той или иной мере выполняемый гипергенными минералами и рыхлыми разностями лимонитов.

Тщательное изучение огромного материала позволило Блэнчарду и Босуэллу разделить структуры лимонитов по характеру строения ячеистого каркаса на два ведущих типа: 1) ящичный (box-work) и 2) губчатый (sponge).

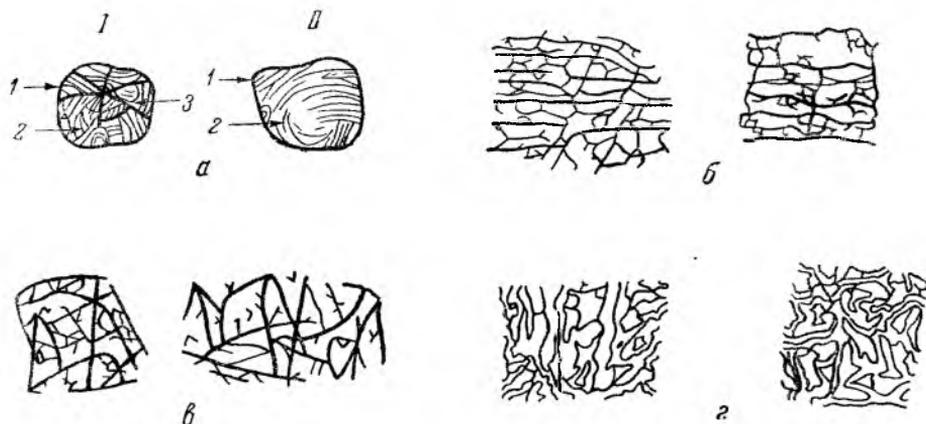


Рис. 36. Схематизированные структуры лимонитов

a — листоватая ящичная структура лимонита по молибдену (по Р. Блэнчарду и П. Босуэллу) I — Санто-Нино (Аризона, США), II — Хоткинсон (Квинсленд, США)

1 — граница ячейки, 2 — листоватые лимонитовые зерна, 3 — гипогенные мелкие кварцевые прожилки

б — идеализированная схема структуры лимонита по халькопириту $\times 5$

в — идеализированная схема треугольно-сферической структуры лимонита по борниту (Энгельмайр, Калифорния). $\times 1$

г — контурная ящичная структура лимонита по тетраэдриту (Эльзгорн, Монтана). $\times 5$

Лимониты с каркасной структурой могут считаться индикаторными, но важное значение для оценки месторождений приобретаю только те из них, универсальное распространение которых доказано. К сожалению, лимониты, признанные американскими исследователями повсеместными, на территории СССР установлены главным образом на выходах меднопорфировых руд. Значение же лимонитов для других типов месторождений сомнительно.

Американские исследователи называют ряд изученных ими типов индигенных лимонитов (см. рис. 36). Они сообщают, что по халькопириту (смесь с пиритом) образуются лимониты со структурами трех типов: 1) грубаячейстой, 2) тонкаячейстой и 3) стекловатой (смоляной); по борниту — лимониты «треугольно-сферической» структуры;

по тетраэдриту — «контурные лимониты»; по галениту — «кливажные», «алмазно-петельчатые» и «пирамидальные»; по сфалериту — «грубоячейстые», «тонкоячейстые» и «губчатые»; по молибдениту — «листоватые» и т. д. Эти исследователи не только дают характеристику (иллюстрируя ее фотографиями) самого рисунка (скелета) изученных ими типов лимонита, но и указывают размеры ячеек, толщину их стенок и рисуют общую картину вмещающих пород в «загрязняющего» лимонита. Толщина стенок колеблется от 0,5 до 0,005 мм, а диаметры ячеек — от 5 до 0,05 мм. В подавляющем большинстве случаев эти лимониты нужно рассматривать под лупой.

Пустоты от выщелоченных минералов могут оказать некоторую помощь при изучении выходов, особенно если приходится иметь дело с поверхностным слоем руд. Многие минералы при выщелачивании или механическом удалении оставляют совершенно отчетливые пустоты. Таковы пустоты от пирита, антимонита, висмутита, молибденита, арсенопирита, касситерита, вольфрамита и некоторых других минералов.

Псевдоморфозы по первичным минералам, встречаемые в зоне окисления, часто позволяют определить трудно диагностируемые охристые рыхлые гипергенные образования. Очень хорошо проявляются псевдоморфозы окисленных минералов сурьмы по антимониту (Кадамжай), повелита по молибдениту (Лянгар), бицгеймита по буланжериту (Восточное Забайкалье), карбонатно-лимонитового материала по людовигиту (там же), тунгстита по вольфрамиту (Саргардон). Остаточные черни наследуют форму первичных руд урана в виде корок, почек вкрапленников с колломорфным строением.

Все эти приемы оценки выходов целесообразно применять к любым типам рудных месторождений. Даже при наличии полноценных спектральных или химических анализов проб визуальное изучение выходов важно, хотя бы с точки зрения контроля, а для мигрирующих элементов оно имеет и большое оценочное значение.

Практика поисково-разведочных работ в последние два-три десятилетия показала, что визуальная оценка выходов имеет особое значение для вкрапленных руд. Для этих месторождений часто применимы все пять перечисленных оценочных приемов, особенно для медных, молибденовых и свинцово-цинковых руд.

Поведение различных элементов в зоне гипергенеза. В подземных водах ионы не только гидратируются, но и образуют комплексные соединения. Все это влияет не только на скорость диффузии, но и на растворимость и передвижение элементов в земной коре.

Окисление сульфидной серы проходит ступенями — от двухвалентной отрицательной до шестивалентной положительной, т. е. сера постепенно отдает восемь электронов. Промежуточные соединения серы с кислородом обладают комплексобразующими свойствами по отношению к большинству тяжелых и благородных ме-

таллов. Большая роль принадлежит иону тиосульфата, который хорошо растворяет многие тяжелые и благородные металлы, включая золото.

Теоретически все минералы и элементы в той или иной природной обстановке растворимы, так как даже платина и золото присутствуют не только в морской, но и в грунтовой воде. Однако нас интересует только растворение и миграция элементов в практически заметных количествах. С этой точки зрения можно все элементы подразделить на три группы: с очень большой подвижностью (K, Na, Ca, Mg и др.), со сравнительно большой подвижностью (Cu, Ni, Co, Mo, U, Ra, Zn и др.), с малой подвижностью (Fe^{+++} , Ti, Al, Zr, Pt, Au, Sn, W, Hg и др.).

Оценка выходов особенно важна для минералов, в состав которых входят мигрирующие элементы, так как опробование выходов очень часто не дает надежных результатов и даже может дезориентировать исследователя.

Вся группа малоподвижных элементов сравнительно легко может быть оценена качественно и даже количественно. Среди них нужно различать две подгруппы: 1) элементы стойких минералов и 2) элементы нестойких минералов.

Элементы первой подгруппы входят в следующие минералы: золото, минералы группы платины, касситерит, киноварь, хромшпинелиды, рутил, берилл, минералы вольфрамовой кислоты, флюорит, топаз, алмаз, слюды, асбест, корунд, монацит, гранат, апатит, фосфорит и др. Все эти минералы практически не изменяются (или очень мало изменяются) на выходах и многие из них образуют россыпи. Только иногда в результате физического выветривания происходит выкрашивание и в отдельных случаях уменьшение зерна некоторых минералов (слюды, асбеста и т. п.), что приводит к обеднению изучаемых выходов. Некоторые минералы, например фосфориты, в определенных условиях испытывают незначительное воздействие поверхностных вод, что в конечном итоге также вызывает некоторое обеднение выхода.

Ф. В. Чухров указывает, что вынос вольфрама, очевидно, происходит в коллоидных растворах. В дальнейшем этот вольфрам рассеивается. Кроме того, В. С. Мясниковым экспериментально доказано, что под действием бикарбоната кальция гунгсит переходит в раствор.

Эти данные лишь раз показывают, что «все растворимо», но для этого нужны только подходящие условия.

Минералы, содержащие малоподвижные элементы в *второй* подгруппе, переходят в зоне окисления в другие, более устойчивые в данных условиях минералы, но при этом миграция элементов не происходит. Эти вновь образованные минералы обычно требуют совершенно иной технологии извлечения.

Галенит. Переходит главным образом в церуссит. Процесс накопления плюмбоярозита $[Pb, Fe_6(SO_4)_4(OH)_{12}]$ не вполне изучен, но предполагается, что в некоторых случаях он играет серьез-

ную роль в зоне окисления. Очень часто гипергенные свинцовые минералы на выходах настолько пигментированы лимонитом, что в мелких зернах плохо определяются.

А р с е н о п и р и т. В зоне окисления легко переходит в скородит, обычно оливкового, реже бурого или белого цвета. Очень часто скородит маскируется лимонитом. Мышьяк принадлежит к элементам, весьма слабо мигрирующим, но практически выходы мышьяковых месторождений нередко бывают несколько обеднены.

В и с м у т и н. Также легко переходит в гидроокислы и карбонаты висмута, но миграция последнего практически незаметна.

А н т и м о н и т. Быстро и легко переходит в сурьмяные окислы. Последние очень легко механически выкрашиваются и вымываются, и поэтому выходы сурьмяных месторождений (особенно верхний слой) могут быть обеднены. Пока не найден способ использования убогих окисленных сурьмяных руд.

М о л и б д е н и т. Формально относится к первой подгруппе, но молибден сравнительно легко мигрирует в коллоидных растворах и поэтому скорее принадлежит ко второй (миграционной) подгруппе элементов. При переходе молибденита в повеллит рений рассеивается.

С точки зрения оценки выходов перечисленные стойкие минералы и элементы обеих подгрупп не заслуживают подробного рассмотрения, так как эта проблема для них решается просто: в основном путем **о п р о б о в а н и я** вскрытых выходов.

Наиболее интересной и важной с точки зрения геолого-минералогической оценки выходов месторождений является та группа промышленных минералов, которая не только трансформируется в зоне окисления, но и обладает практически растворимыми соединениями, иначе говоря, элементами, способными к миграции.

В последнее время среди некоторой части геологов укоренилось мнение, что геофизические и особенно геохимические методы при рациональном их применении сами по себе достаточны для оценки выходов месторождений. Это глубокое заблуждение: только геолого-минералогический подход может обеспечить правильное решение задачи, а все поисковые методы могут в той или иной мере только помочь оценке.

Прежде всего нужно знать, какую роль в зоне окисления играют **ж е л е з н ы е с у л ь ф и д ы**, особенно пирит и марказит, окисление которых создает кислую среду, способствующую миграции не только железа, но и многих других элементов. При оценке выходов железорудных месторождений нужно в первую очередь выяснить роль пирита в разных железорудных проявлениях. Кроме того, во всех случаях следует обращать внимание на ярозиты, значительное количество которых часто помогает установить, что в данном случае железная шляпа образовалась за счет сульфидного месторождения.

Здесь же следует отметить большую миграционную способность манадия.

Марганец. Поведение марганца в процессах миграции весьма напоминает железо. При оценке марганцевых месторождений по выходам надо всегда учитывать резко повышенную способность гидрокислов марганца адсорбировать катионы многих металлов: Co, Li, Cu, Zn и, вероятно, Au и Ag.

Медь. При оценке любых медных месторождений необходимо помнить о способности меди к миграции в кислой среде и образованию зоны вторичного обогащения с высокой концентрацией меди.

Масштабы зоны вторичного обогащения целиком зависят от условий формирования зоны окисления, стадии ее развития и характера протекающих в ней процессов.

Особое значение вторичная зональность приобретает в колчеданных месторождениях, где она более четко проявляется. При оценке железных шляп в этих случаях важно прежде всего выяснить, какую стадию переживает зона окисления. Чем она более «проработана», тем больше оснований ожидать богатую зону вторичного обогащения, так как медь может полностью мигрировать из верхних зон в нижние.

Стадия формирования железной шляпы может быть ориентировочно определена по минеральному составу и величине pH. Если на выходе сохранилось много остаточных сульфидов и величина pH характеризует кислый характер вод, — зона вторичного обогащения может быть слабо выражена. Если же мы имеем «мертвую шляпу», из которой вынесены все металлы, а значение pH невысокое, — есть основания ожидать мощную зону вторичного обогащения.

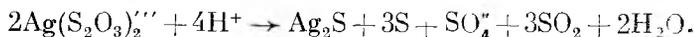
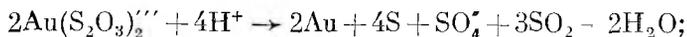
Опознавательными признаками для установления железной шляпы могут служить: присутствие ярозита или барита, хотя бы небольшие количества золота и серебра, порой присутствие селена и теллура. По большому количеству ярозита в бурых железняках Блявинского месторождения была правильно произведена его оценка.

В зонах окисления колчеданных месторождений иногда происходит накопление золота, связанное с растворением золотоносных сульфидов (с субмикроскопическим золотом) и в первую очередь пиритов. Тонкодисперсное золото растворяется и передвигается в пределах зоны окисления; основная его масса скапливается в самых ее низах, в подзоне выщелачивания, в сыпучках и плитках разного состава (кварцево-гипсового, кварцево-баритового). Количество золота и серебра в них значительно превышает содержание их в первичных рудах, и сами шляпы в некоторых случаях разрабатываются как золотоносные месторождения (Башкирия, Южный Урал).

Поэтому при разведке медноколчеданных месторождений должно быть обращено особое внимание на тщательное и детальное опробование зоны окисления.

В последнее время появились новые данные о миграции золота, серебра и ртути в тиосульфатных комплексах, которые образуются в присутствии кислорода; эти комплексы являются хорошо растворимыми и прочными в водных растворах. Разложение тиосульфатных комплексов идет в нижних частях зоны окисления за счет восстановительных условий.

Реакции протекают так



Наблюдения в природе над окисленными зонами колчеданных месторождений подтверждают эти соображения и выводы.

При изучении выходов меднопорфировых месторождений важно учитывать не только вторичные типоморфные минералы, но и индикаторные структурные лимониты, образованные за счет сульфидов. Если на выходах меднопорфировых месторождений наблюдается незначительная минерализация, представленная карбонатами меди с очень большим количеством вкрапленников лимонита с ящичной структурой, образованных по халькопириту, можно утверждать, что большая часть меди перешла в раствор и мигрировала в нижние горизонты месторождения, где есть основание ожидать зону вторичного обогащения.

Если на выходах в большом количестве присутствуют смоляные лимониты (медная смоляная руда), карбонаты и окислы меди, можно считать, что процесс окисления и растворения протекал в условиях недостатка кислоты (мало пирита и большая нейтрализация) и медь в большей своей части задержалась в пределах зоны окисления. В этом случае нет основания ожидать образования ценной зоны вторичного обогащения, и содержание меди на выходах будет соизмеримо с содержанием ее в первичных рудах.

С в и н е ц и ц и н к. Постоянный парагенезис минералов цинка и свинца в гипогенной зоне нарушается в условиях зоны окисления. Сульфат свинца практически нерастворим и остается в пределах зоны окисления, быстро переходя в карбонат. Некоторые новые данные показывают, что в условиях повышенной концентрации сульфат-иона свинец в ряде случаев способен мигрировать на значительные расстояния.

Сульфат цинка легко растворяется и может быть почти полностью вынесен. Основной первичный минерал цинка — сфалерит — неустойчив в зоне окисления и через сульфатную стадию переходит в железистый смитсонит — монгеймит и далее в смитсонит. Из типоморфных цинковых минералов важное значение приобретает каламин (галмей), который благодаря весьма характерным кристаллам легко определим в зоне окисления. При широко развитой лимонитизации в зоне окисления полиметаллических месторождений очень

трудно различить ожелезненные смитсониты; часто они принимаются за бурые железняки. Поэтому именно каламин помогает узнать в полевых условиях окисленные руды выходов цинковых месторождений.

В карбонатных породах цинк может отложиться в виде залежей галмейных руд, тяготеющих главным образом к трещинным зонам, по которым двигались растворы. Если вблизи поверхности встречены цинковые галмейные руды без примеси свинцовых, медных и жильных минералов, то непосредственно под ними не будет рудного тела, но оно может оказаться несколько в стороне. Подобная переотложенная смитсонитовая залежь была встречена на месторождении Тетюхе в СССР, как и на многих рудниках США.

Таким образом, оценивая цинковые месторождения по выходам, надо иметь в виду, что отсутствие или незначительное содержание цинка в верхней зоне подчас не отражает его содержания в гипогенных рудах.

Н и к е л ь. Сульфиды никеля и главным образом пентландит неустойчивы в зоне окисления, и выходы месторождений типа Мончегундра и Сэдбери, как правило, обеднены по сравнению с первичными рудами. Относительно легко мигрирующий сульфат никеля может быть почти полностью выщелочен (хотя этот вопрос еще недостаточно изучен теоретически и практически не проверен).

Типоморфным минералом зоны окисления в присутствии мышьяка является аннабергит, который легко отличается по голубовато-зеленой окраске. В литературе указывается, что в Африке известны яркоокрашенные пятнистые карбонатные выходы с никелевыми минералами.

Таким образом, оценка сульфидных никелевых месторождений по выходам может пока заключаться только в качественном определении никеля в зоне окисления.

К о б а л ь т. Сульфиды и арсениды кобальта: линнеит, кобальтин, шмальтин и глаукоdot, так же как и соединения никеля, неустойчивы в зоне окисления, и выходы их бывают обеднены по сравнению с первичными рудами. Отличие кобальта состоит в том, что он частично задерживается в верхах зоны вторичного обогащения и в низах зоны окисления, где содержание его бывает в несколько раз выше, чем в первичной руде. Главный типоморфный минерал кобальта на выходах — эритрин, который легко заметен благодаря розовому цвету.

Хотя поведение кобальта в зоне окисления плохо изучено, несомненно, что сульфат кобальта растворим, и выходы месторождений кобальта могут быть обеднены. Есть и практические наблюдения, подтверждающие это положение. Присутствие же мышьяка задерживает миграцию путем фиксации последнего в эритрине. Кроме того, ряд минералов (особенно окислы марганца) сорбируют кобальт.

У р а н. Проявления урана в земной коре настолько разнообразны, что рассмотрение его поведения в зоне окисления может служить темой специального большого исследования. Здесь же рассмотрены только главные видоизменения урана в зоне гипергенеза.

По данным В. Г. Мелкова, минералы ряла уранинита неустойчивы в зоне окисления и поддаются как химическому, так и механическому разрушению. Химическое изменение уранинита приводит к образованию псевдоморфоз гидроокислов и силикатов урана по ураниниту и релке — к образованию остаточных урановых черней.

Гидроокислы урана — беккерелит, скупит — обычно встречаются в виде плотных или землистых агрегатов желтого или красноватого цвета. Силикаты урана — складовскит, уранофан, β -уранотил — наблюдаются в виде призматических игольчатых кристаллов, образующих лучистые агрегаты или порошковатые разности желтого и оранжевого цвета. В отличие от гидроокислов большинство из них обладает способностью люминесцировать.

Минералы группы урановой смолки химически очень нестойки, и находки их на выходах очень редки. Они сохраняются только в виде окремнелых образований или включений в массивном кварце. За счет урана, переходящего в раствор, образуются различные фосфаты, сульфаты, арсенаты, силикаты и окислы урана.

Урановые черни — остаточные продукты неполного разрушения пастурана и уранинита — имеют большое значение для оценки выходов, так как по ним можно составить ориентировочное представление о размерах, форме и условиях залегания первичных минералов. Количественное же содержание урана на выходах может быть резко понижено вследствие его высокой способности к миграции и рассеянию.

В результате разложения урановых черней могут появляться сульфаты, карбонаты и сульфато-карбонаты урана в виде корочек, выцветов и порошковатых скоплений. Все эти соединения имеют яркую желтую, бурую, желто-зеленую окраску, бросающуюся в глаза при поисках. Диагностика их облегчается еще тем, что они люминесцируют в ультрафиолетовых лучах.

Группа фосфатов, ванадатов и арсенатов урана — урановые слюдки (главные из них — торбернит, отенит, метаторбернит, метатенит, карнотит, тьюмунит) — образует хорошо выраженные таблитчатые кристаллы квадратной и прямоугольной формы. Скопления слюдок наблюдаются главным образом в поверхностных частях месторождений, где они развиваются по трещинкам и пустогам и иногда образуют промышленные скопления. Слюдки эти очень хрупкие и, как отмечает В. Г. Мелков, на самом выходе обычно легко выкрашиваются. Радиоактивное равновесие в них часто нарушено в сторону избытка урана. Помимо других методов, слюдки легко определяются благодаря их люминесцированию.

Оценка выходов урановых месторождений представляет значительную трудность, так как в одних случаях уран может быть полностью вынесен из зоны окисления, а в других случаях, когда кислотность раствора резко понижена, могут образоваться богатые ураном «шляпы». Мощные зоны окисления создаются главным образом в условиях значительной трещиноватости и легкой растворимости вмещающих пород. Если же рудные минералы окружены плотной кварцевой оболочкой, процессы окисления идут очень замедленно.

Необходимо помнить, что при нарушении радиоактивного равновесия повышенная радиоактивность пород может быть вызвана избытком как урана (урановые слюдки), так и радия (урановые черны). Поэтому при оценке выходов необходимо не только учитывать интенсивность радиоактивности, но и детально изучать минеральный состав породы, чтобы правильно оценить ее характер.

Способность урана мигрировать, с одной стороны, вредно отражается на месторождениях, так как в общем случае обедняется зона окисления, а с другой стороны, является благоприятным фактором для поисков месторождений благодаря образованию ореолов повышенной радиоактивности; поэтому для поисков месторождений урана применимы все виды геохимических методов.

Редкие элементы. Многие редкие и рассеянные элементы не создают самостоятельных минералов и месторождений, а содержатся в качестве примесей или сорбций в других минералах.

Минералы, в которые входит часть редких элементов (Be, Ta, Nb, Zr, Ce и др.), устойчивы в зоне окисления, а многие из них образуют промышленные скопления в аллювиальных отложениях.

Подход к оценке месторождений этих минералов должен быть такой же, как для всех немигрирующих элементов, т. е. надо иметь в виду, что выход может быть несколько обеднен в результате механического выветривания, но практически содержание полезного компонента в верхней и в глубокой частях месторождения примерно одинаково.

Поведение некоторых элементов и минералов в зоне гипергенеза требует специальных пояснений. По данным А. И. Гинзбурга, устойчивый в обычной обстановке берилл при ассоциации с сульфидами и флюоритом растворяется и выносится. Колумбит и танталит — типичные минералы россыпей — более хрупки, чем касситерит, с которым они часто ассоциируют, поэтому их механические ореолы рассеяния значительно меньше ореола касситерита.

К растворимым элементам, по А. И. Гинзбургу, относятся: литий, который выносится из всех литиевых минералов, редкие земли в различных минералах, цезий в поллудите. Сподомен теряет литий и переходит в глинистые минералы; поллудит, теряя цезий, переходит в монтмориллонит. В результате разрушения многих редкоземельных минералов на выходе образуются выщелоченные сыпучки.

Кадмий, неустойчивый в зоне окисления, иногда образует минерал гринокит.

Поведение германия, таллия, скандия, кадмия, селена, теллура, рубидия, галлия, индия, гафния, рения в зоне окисления слабо изучено. Сейчас только по некоторым из них имеются практические данные; например, отмечено, что германий, цезий, рубидий, по-видимому, легко выносятся и мигрируют, но экспериментально их поведение не проверено.

По последним данным В. В. Щербина, Cd и Tl характеризуются слабой, In, Sc, Te и Se — средней, а Re — большой миграционной способностью.

С е р а. В результате воздушно-водяного окисления на выходах месторождений серы образуется «шляпа», представленная трепеловидными породами. Подобные выходы, по данным С. Е. Прянишниковой, образовались за счет мергелей, содержащих значительные количества кремнекислоты. Породы эти имеют белый или серый цвет, иногда окрашены окислами железа и битумами. Такая «шляпа» может помочь обнаружению месторождения; оценить же качество сырья можно только с помощью разведочных работ и опробования неизменной части месторождения.

Б о р. Вопрос о поведении бора в зоне окисления еще детально не изучен. Силикаты бора типа турмалина, безусловно, устойчивы и хорошо сохраняются даже в аллювиальных отложениях. Соединения же в виде людвигита и вообще бораты весьма неустойчивы, и весь заключенный в них бор может быть полностью вынесен из зоны окисления. На выходах иногда остаются псевдоморфозы железисто-карбонатного состава по типичным формам кристаллов людвигита.

Такие псевдоморфозы дают возможность распознать выход месторождения людвигита и ориентировочно оценить масштаб рудопроявления.

У г о л ь. На выходах угольных месторождений происходит типичное окисление. Уголь на выходе бывает совершенно изменен и часто не соответствует составу и качеству неизмененных углей. Особенно резко эти процессы проявляются до глубины 10—20 м, где нередко происходит разложение всей органической массы угля. Но признаки окисления угля, например в Донбассе, встречаются значительно глубже.

Выходы углей часто приобретают самую различную окраску в зависимости от примесей, которые находились в нем. В результате окисления пирита в угле выход может быть окрашен в бурый цвет, покрыт светлыми беловатыми налетами от выделения железистых сульфатов (мелантерита). Если выветривание выразилось только в механическом разрушении угля, выход бывает представлен размазанной сажистой массой. Если же процессы окисления разрушили его органическую массу, то на выходе наблюдаются рыхлые беловато-серые скопления — «меловка».

При изменении состава углей в зоне окисления, естественно, меняются и их технологические свойства (в сторону ухудшения). Поэтому при качественной оценке месторождений угля необходимо брать технологические и химические пробы ниже окисленной части выхода.

5. МОРФОЛОГИЯ ВЫХОДОВ

При геолого-минералогической оценке выходов недостаточно обращать внимание только на химическое выветривание, необходимо в соответствующей мере учитывать также и физическое выветривание, а также действие силы тяжести, которое иногда заметно сказывается в поведении минералов с большим удельным весом. Это вполне естественно, так как в зоне окисления (особенно на выходе) изменяется не только состав, но и форма рудного тела, особенно его мощность.

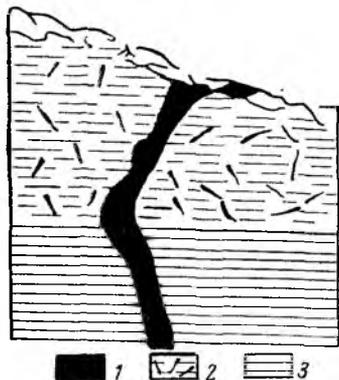


Рис. 37. Деформация кварцевой жилы у выхода (месторождение Чалкуйрюк)

1 — кварцевая жила, 2 — разрушенный роговик, 3 — плотный роговик

Образующийся при выветривании элювий ползет по склону, переходит в делювий, в котором рудный детрит переживает важную стадию «подготовки» россыпных минералов. В это же время образуются и вторичные ореолы рассеяния, располагающиеся вокруг месторождений, особенно вблизи по склону.

В некоторых районах, особенно тропических (например, в Бирме) вмещающие породы подвергаются глубокому выветриванию, внешне сохраняя свой первичный облик (например, гранит). При этом твердые минералы, как касситерит, «проваливаются», нередко достигая поверхности незатронутого выветриванием гранита, и образуют элювиальные россыпи.

В процессе выветривания некоторые тела полезных ископаемых, плохо поддающиеся выветриванию, или образуют выступы в рельефе (например, зубчатый рельеф в районах выходов пегматитовых жил), или дают в элювии и делювии такое количество рудных обломков (например, золотоносного кварца), что они могут ввести в заблуждение исследователя, который, предполагая большую мощность рудных тел, может «переоценить» выходы месторождения, залегающие под наносами.

Кривизна склонов не только влияет на масштабы и быстроту сползания дезинтегрированного материала, но и способствует отгибанию выходов месторождения согласно с рельефом. В горных условиях сильное изгибание испытывают даже выходы крепких пород и руд (рис. 37).

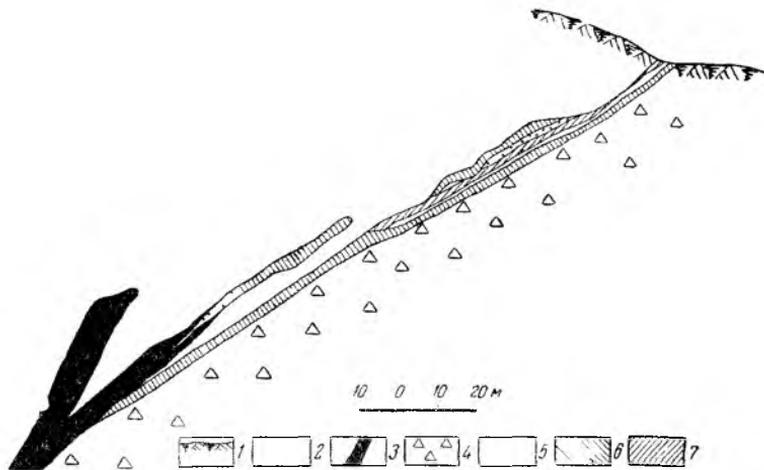


Рис. 38. Схематизированный разрез месторождения Южная Дарбаза (по В. Абатурову)

1 — растительный слой, 2 — известняк, 3 — сульфидная руда, 4 — брекчия, 5 — церуссит, 6 — лимонит с тектонической глиной, 7 — тектоническая глина

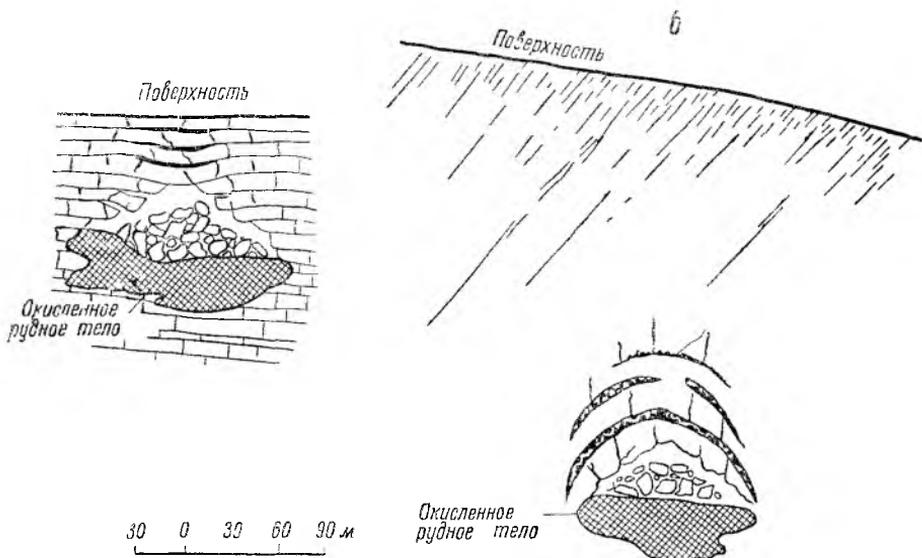


Рис. 39. Типы обрушения пород над зонами окисления в Бизби (Аризона)
 а — обрушение кровли над окисленными рудами, б — трещины оседания в массивных известняках на значительной глубине

Эти явления имеют важнейшее практическое следствие. Часто пласты и жилы отгибаются вниз по склону, изменяя угол падения в такой степени, что получается как бы обратное падение (см. рис. 37). Последнее нередко обуславливает неправильное заложение первых глубоких разведочных выработок (шахт, буровых скважин).

Кроме изменения угла падения, в зоне окисления нередко наблюдается резкое уменьшение мощности пласта или жилы полезного ископаемого почти до полного его исчезновения, в результате чего кровля тела полезного ископаемого ложится на его почву. Такое явление неоднократно наблюдалось у пластов каменного угля, когда пласт практически «исчезал» на несколько десятков метров по падению, а кровля пласта почти контактировала с почвой. Подобные явления нередко отмечались и в других типах месторождений (рис. 38).

Уже давно известно явление оседания пород над зоной окисления. В последнее время многими исследователями подробно освещены явления оседания на Урале, особенно Виссером в Бизби (Аризона, США, рис. 39). Этот автор приводит интересные сведения о краевых трещинах, погружении некоторых блоков в виде «пробки» и постепенном угасании обрушения в сторону дневной поверхности.

В связи с этими явлениями следует напомнить и о рудном карсте в известняках (т. е. об открытых полостях, образовавшихся в известняках вследствие их растворения кислотными грунтовыми водами), который весьма усиливает картину обычного карста. Например, в Средней Азии огромные камеры рудного карста нередко раньше принимались за большие выработки древних рудокопов.

6. ВСКРЫТИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД, ВЫХОДОВ РУДНЫХ ТЕЛ И ДЕТАЛЬНАЯ МЕТАЛЛОМЕТРИЯ

Обнажение коренных пород и особенно выходов рудных тел с целью опробования является обязательным при крупномасштабной геологической съемке. В прежние годы, до широкого распространения геофизических методов, обнажение коренных пород производилось по определенной системе (по сетке, линиям и т. д.). В настоящее время искусственное обнажение производится спорадически, с учетом геофизических данных. Количество искусственных обнажений обусловлено задачами данной поисково-разведочной стадии.

Если геофизические исследования не производились и произвести их почему-либо невозможно, то методика вскрытия выходов остается прежней (т. е. по сетке, линиям и т. д.). Кроме того, необходимо во всех случаях сопоставлять цифры затрат: с одной стороны, на систематическую проходку мелких горноразведочных выработок, с другой — на геофизические работы и сравнительно небольшое количество искусственных обнажений коренных пород и выходов. Конечно, стоимость геофизических работ, несмотря на то, что данные их всегда требуют проверки, обычно несоизмеримо

меньше стоимости искусственных обнажений; поэтому только при очень малых наносах (например, до 0,5 м) преимущество может остаться за поверхностными земляными работами.

Снятие наносов для детальной геологической съемки, а также для изучения и опробования месторождений производится при помощи различных разведочных выработок: 1) расчисток, 2) борозд, 3) закопшек, 4) канав (коротких и магистральных, рис. 40), 5) траншей, 6) щуповых скважин, 7) мелких шурфов (рис. 41), 8) мелких дудок, 9) мелких скважин комбинированного или медленно-вращательного бурения и 10) небольших штолен.

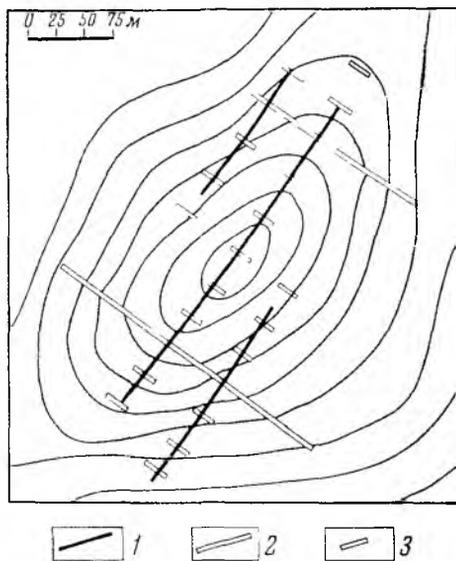


Рис. 40. Разведка жил с применением магистральных канав

1 — жилы, 2 — магистральные канавы, 3 — канавы для прослеживания жил

Особый случай представляет разведка выходов при очень глубоких наносах. В этих условиях применяются обычные выработки разведочной стадии: шурфы, шурфы с кварцлагамы, шахты, штольни и буровые скважины комбинированного ударно-канатного и колонкового бурения.

Массовая проходка мелких разведочных выработок значительно облегчается при использовании канавокопателей, бульдозеров, буров-столбокопателей и другой «малой механизации». В этом случае приходится конкретно учитывать как местную геологическую обстановку, так и имеющиеся механизмы для проведения работ в данных условиях.

Крупномасштабная металлотрическая съемка. Для штокверковых и других вкрапленных месторождений (например мощных сколовых зон), а также для многих эндогенных месторождений других типов большую ценность представляет детальная металлотрическая съемка по коренным породам с изучением первичных ореолов рассеяния: купрометрическая, плюометрическая, станнометрическая, аурометрическая и т. д. В прежнее время в полевой обстановке, помимо визуальных минералогических определений, применялись различные реакции для грубой оценки содержания металлов (или металла) в пробах и штуфах. Теперь целесообразнее опираться на спектральные полуколичественные и даже количественные анализы.

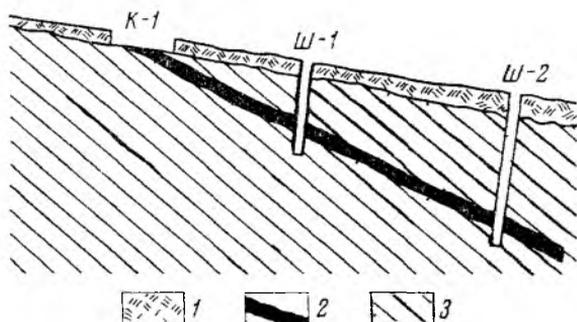


Рис 41. Вскрытие полопоналающего рудного тела канавой и двумя шурфами в одном поперечном разрезе (по П. Л. Каллистову)

1 — наносы, 2 — рудное тело, 3 — вмещающие коренные породы (сланцы и песчаники)

Обычная детальная металлотрическая съемка производится в рыхлых породах (почвах), где так или иначе проявляются солевые или (реже) механические ореолы рассеяния.

При крупномасштабном опробовании коренных пород выявляются первичные (иногда частично и вторичные) ореолы рассеяния. Особенно хорошо изучено опробование коренных выходов штокверковых и вообще убогих рассеянных руд. Эти выходы занимают площади размером от десятых долей квадратного километра до 3—4 км². Именно массовое опробование и изучение коренных выходов меднопорфировых руд с 20-х годов XX столетия получило название купрометрической съемки. Практика показала, что вполне целесообразно распространить подобное изучение коренных выходов на месторождения вкрапленных руд любых металлов.

Таким образом, если при обычной металлотрии пользуются отбором проб из почв, то рассматриваемая здесь крупномасштабная металлотрия опирается на опробование вскрываемых коренных

пород, а позднее и опробование пород в подземных выработках и керн буровых скважин. В основном крупномасштабная металлометрическая съемка в поисковоразведочной стадии сводится к проходке сети расчисток или шурфов и отбору из коренных пород точечных или штучных проб.

Параллельно с опробованием необходимо производить визуальные беглые наблюдения с приближенной оценкой выходов. Для этого надо использовать весь оценочный арсенал: 1) остаточные сульфиды, 2) гипергенные минералы, 3) структурные лимониты, 4) пустоты выщелачивания и 5) псевдоморфозы. В результате этих наблюдений для всех вскрытых и изученных точек (расчисток, шурфов и пр.) должно быть получено описание пород, замеры и характеристика трещин, количественное минералогическое описание взятых штучек. Визуальное описание полезно для сравнения с данными спектрального или дитизионового анализа. Применение колориметрии, микрохимии или эталонных коллекций для визуальной качественной оценки далеко не всегда целесообразно, но этот вопрос можно решить, только учитывая конкретные условия места и времени.

Опробование вскрытых выходов производится на месторождениях всех типов. Дешевые полуколичественные спектральные анализы меняют прежнюю методику производства детальной металлометрических (например, купрометрической) съемок, описанных ранее многими исследователями.

Но для «миграционных» элементов, кроме обычного взятия проб, необходимо минералого-петрографическое изучение вскрытых коренных руд и попутно вмещающих пород. Для этого используется весь оценочный арсенал, перечисленный выше.

Обычно в каждой выработке (в шурфах, дудках, расчистках и др.) берется несколько штучек (например, пять — конвертом) и их поверхность изучается визуально. Затем каждому штучку (а затем всем им вместе, т. е. данному пункту опробования) ставится какой-либо балл по пятибалльной системе с учетом данных анализа и минералого-петрографического визуального изучения.

Вся эта работа полезна не только для «мигрирующих» элементов, но и для всех прочих, так как помогает в некоторой мере контролировать результаты анализов (встречаются грубые ошибки).

Реальная помощь всей этой детальной съемки площади выхода заключается в систематическом изучении петрографии пород, их контактов, гидротермальных и гипергенных изменений, а также трещиноватости.

Небрежное изучение выходов недопустимо; полагать, что спектральные анализы дадут исчерпывающую характеристику выходов, — значит глубоко ошибаться. Опыт прошлого показывает, что большой эффект получается при купрометрической, молибденометрической, плюомметрической (одновременно с цинкометрической) съемках.

Хорошие результаты в прошлом давала и уранометрическая съемка, основанная на изучении солевых ореолов рассеяния урана

путем количественного люминесцентного анализа проб, взятых из наносов. Взятие спектральных проб из коренных пород, радиометрическое опробование с попутными геолого-минералогическими исследованиями дают возможность надежно изучить выходы урановых месторождений и правильно их оценить.

7. ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЫХОДОВ

Первичная геологическая документация искусственных обнажений мало отличается от документации естественных обнажений. Процесс этот несложный, но весьма ответственный. Для успеха работы всегда необходима хорошо продуманная и неуклонно проводимая система.

В подавляющем большинстве случаев разведочной практики значительно более ответственной частью работы по сравнению с изучением наносов является документация выходов коренных пород и полезных ископаемых. Первичные документы должны освещать все вопросы, вытекающие из целей и задач детальной съемки и изучения месторождений.

Всякая геологическая документация имеет три основных составляющих: 1) записи в полевых книжках или специальных журналах; 2) графический материал (зарисовки и карты); 3) каменный материал, включая пробы. Все эти документы неразделимы между собой и составляют одновременно.

Записи должны быть краткими, но всесторонними. Особенно важны графические документы, которые часто сопровождаются и краткими записями.

Как правило, нужно зарисовывать все пройденные выработки, начиная от борозд и расчисток и кончая шурфами, штольнями и скважинами. Все эти выработки относятся на топографические и геологические карты, и поэтому дальнейшая сводная документация выполняется без всяких затруднений.

Обычно для зарисовки выработок используются специальные журналы или формы, которые имеются в любой геологоразведочной организации. Заполнение этих форм не требует пояснений. Если же форм не имеется, то зарисовки выполняются в книжке или на отдельных листах бумаги в клетку, разграфленных через 0.5 см. Принятые масштабы зарисовок: 1 : 10; 1 : 20; 1 : 50; 1 : 100. Для протяженных выработок (борозд, канав) иногда применяется масштаб 1 : 200.

Не нужно стремиться давать на зарисовках фотографию выработки и усложнять общую картину; следует только подчеркивать ведущие геологические детали, отражающие возрастные соотношения различных пород и полезных ископаемых, а также их структуру. Необходимо здесь же на графических документах показывать стрелками простирание и падение плоскостей напластования, трещин, кливажа и указывать азимуты и углы падения.

Основное внимание должно быть обращено на полезное ископаемое и его соотношение с вмещающими породами. Поэтому состав

и структуру кровли и почвы, а также зальбандов необходимо отражать с особой тщательностью.

Во всех выработках, пройденных для вскрытия коренных пород и полезных ископаемых, нужно зарисовывать почву выработок. Если последние пересекают полезное ископаемое, то зарисовка увязывается с опробованием. Если наносы глубокие, то параллельно нужно зарисовать одну из стенок пройденной выработки — ту, которая ориентирована вкrest простирания пород или месторождения. Делать для всех этих выработок частичную или полную развертку (т. е. зарисовывать три или четыре стенки выработки), как правило, совершенно не нужно.

Не нужно набирать излишнего каменного материала, за исключением ценных минералогических образцов и образцов фауны и флоры. Количество необходимого каменного материала определяется изложенными выше данными о выходах месторождений и методике их изучения. Следует отбирать образцы остаточных и гипергенных минералов, структурных лимонитов и, кроме того, образцы, отражающие всевозможные взаимные пересечения минеральных комплексов и их зальбанды. Для изучения изменений боковых пород отбирается ряд образцов вкrest простирания рудных тел. При изучении пород берутся образцы из кровли и почвы пласта, огражающие (например, для углей) условия накопления вещества.

Нужно отметить, что неопытные работники обычно перегружают себя излишним количеством записей, зарисовок и особенно образцов.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ
РАЗВЕДКА

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ
РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВЕДКИ

Разведка представляет собой комплекс исследований и необходимых для их выполнения работ, направленных на определение промышленного значения данного месторождения.

Разведочные работы на месторождении полезного ископаемого производятся прежде всего в целях определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных и экономических условий, в которых находится месторождение.

Количество полезного ископаемого определяется занимаемым им объемом; следовательно, цель разведки в этом отношении заключается в выяснении формы и размеров разведываемого месторождения.

Выяснение качества полезного ископаемого должно сводиться как к определению химического и минерального состава и природных типов руд, так и к установлению технологических свойств руд и их сортов.

Количество и качество полезного ископаемого предстают перед исследователем недр в неразрывном единстве, так как, с одной стороны, форма месторождения устанавливается в зависимости от качественного минимума (кондиций), определяющего контуры промышленных участков и тел полезного ископаемого, а с другой стороны, качество полезного ископаемого заключено в пределах некоторой формы тел, образующих месторождение, и вне ее рассматриваться в недрах не может.

Кроме чисто геологических данных о залегании тела полезного ископаемого, в процессе разведки необходимо выяснить и другие горнотехнические и экономические сведения, характеризующие условия, в которых находится изучаемое месторождение.

Несмотря на то что в процессе разведки приходится решать сложный комплекс геологических, технических и экономических вопросов, разведочное дело базируется прежде всего на геологии. Всякое тело полезного ископаемого обладает большей или меньшей изменчивостью своих различных параметров, особенно качества и формы; изменчивость последней слабее проявляется в пластовых телах и резко сказывается в различного рода трубчатых телах, ветвящихся залежах, сложных жильных зонах и т. п. Еще более

изменчиво качество полезного ископаемого, иногда резко различающееся в отдельных пунктах месторождения, особенно в рудных телах драгоценных и редких металлов. Если бы тела полезных ископаемых не обладали изменчивостью форм и качества, то разведка их сводилась бы к некоторым простейшим единичным измерениям и исследованиям. Вся современная методика и техника разведки создавалась исходя из необходимости учитывать эту изменчивость. Кроме того, изменчивы условия залегания тел полезных ископаемых, вмещающие породы, структуры и т. д.

Таким образом, в основе задач, стоящих перед разведкой, лежит необходимость эффективного изучения геологических закономерностей, предопределяющих форму, качество и условия залегания тел полезных ископаемых и изменчивость их основных свойств.

Одновременно с решением основных задач разведки — определением формы месторождения и качества полезного ископаемого — необходимо выяснить и некоторые другие важные условия, влияющие на оценку месторождения, и прежде всего следующие вопросы.

1. Глубину и элементы залегания всех частей месторождения. Выяснение этих вопросов должно производиться с достаточной степенью точности, так как данные о глубине и элементах залегания месторождения определяют выбор способа вскрытия и отработки месторождения.

2. Физические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород. Главными физическими свойствами полезного ископаемого и вмещающих пород, подлежащими учету при разведке любого полезного ископаемого, являются: объемный вес, крепость, устойчивость, влагоемкость, кусковатость, коэффициент разрыхления, пыленосность, газоносность.

3. Гидрогеологические условия — обводненность месторождения и необходимую мощность водоотлива при будущей эксплуатации: ресурсы питьевой и технической воды.

4. Транспортные возможности как в отношении передвижения грузов на территории будущего предприятия (автодороги, железнодорожные ветки, подвесные канатные дороги и т. п.), так и в отношении связи с внешним миром (железнодорожные магистрали, водные артерии, авиалинии и т. п.).

5. Энергетические ресурсы и топливо, ТЭЦ, гидростанции, возможности заготовок и добычи местного топлива. Напряженность энергетического баланса в районе и возможности расширения энергетической базы.

6. Виды местных строительных материалов и возможности их использования для промышленного и бытового строительства; крепежный лес.

7. Особенности экономического и бытового уклада населения района; экономический профиль района; смежные отрасли промышленности; рентабельность и направление сельского хозяйства района; возможности снабжения будущего предприятия за счет местных ресурсов.

Из изложенного видно, что разведчику недр приходится в процессе разведки вникать в разнообразные вопросы от чисто геологических до специальных горнотехнических, технологических и экономических. Таким образом, разведка полезного ископаемого представляет собой сложный комплекс мероприятий, имеющих целью решение различного рода теоретических и практических задач.

2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Математическое выражение изменчивости свойств месторождений

В самом понятии изменчивость необходимо различать две стороны явления — характер изменчивости и ее интенсивность.

Понятие изменчивости свойств полезных ископаемых еще не приобрело вполне законченного определения и различными исследователями трактуется по-разному. Так, П. Л. Каллистов подразделяет изменчивость по характеру на два вида: закономерную, или локальную, и случайную, или беспорядочную. В то же время Д. А. Зенков выделяет четыре типа изменчивости: 1) плавную, непрерывную, закономерную; 2) плавную, непрерывную, незакономерную; 3) прерывистую, скачкообразную, закономерную; 4) прерывистую, скачкообразную, незакономерную.

Еще больше расходятся мнения ученых о количественном выражении характеристик изменчивости свойств тела полезного ископаемого. Несмотря на разногласия, обусловленные разными подходами к решению задачи и различными математическими приемами, почти все построения основываются на теории вероятности и математической статистике, т. е. на анализе случайных, функционально не связанных величин*.

Коэффициент вариации V является основным средством количественного выражения изменчивости свойств тела полезного ископаемого. Он определяется как отношение среднеквадратического отклонения σ результатов ряда измерений величины M (мощности тела, содержания металла, объемного веса и т. п.)

* Вывод и анализ приводимых в настоящем разделе формул содержится в руководствах по математической статистике. Для решения вопросов методики разведки нужно стремиться, когда это возможно, применять математические методы, в особенности основные положения теории вероятности и вариационной статистики, дисперсионный и корреляционный анализы, выборочный метод. Трудоемкие вычисления не являются препятствием для широкого применения математики, так как они могут быть легко выполнены с помощью счетно-перфорационных и электронных вычислительных машин, которые в настоящее время уже используются для автоматизации подсчета запасов и решения других геологических задач.

к среднему арифметическому $M_{\text{ср}}$, вычисленному для этого же ряда (табл. 20), и выражается большей частью в процентах

$$V = \frac{\sigma}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Величина среднего арифметического находится обычным способом

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sum M}{n}. \quad (2)$$

Среднее квадратическое отклонение характеризует среднюю амплитуду отклонений отдельных измерений от среднего арифметического

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (M - M_{\text{ср}})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где $(M - M_{\text{ср}})$ — отклонение отдельного измерения от среднего арифметического;

n — число измерений в данном ряду.

Таблица 20

Пример вычисления коэффициента вариации

Измеренные значения M	Отклонения от среднего арифметического $(M - M_{\text{ср}})$	Квадраты отклонений от среднего арифметического $(M - M_{\text{ср}})^2$
5	-2	4
3	-4	16
8	+1	1
12	+5	25
6	-1	1
4	-3	9
7	0	0
5	-2	4
13	+6	36
$\sum M = 63$		$\sum (M - M_{\text{ср}})^2 = 96$

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sum M}{n} = \frac{63}{9} = 7;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (M - M_{\text{ср}})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{96}{9-1}} \approx 3,46;$$

$$V = \frac{\sigma}{M_{\text{ср}}} \cdot 100 = \frac{3,46}{7} \cdot 100 \approx 49\%.$$

Следует иметь в виду, что величина V выражает лишь степень изменчивости исследуемого параметра, но не отражает х а р а к -

т е р а его изменчивости (рис. 42). Представление о характере изменчивости может быть получено путем построения соответствующих графиков (рис. 43).

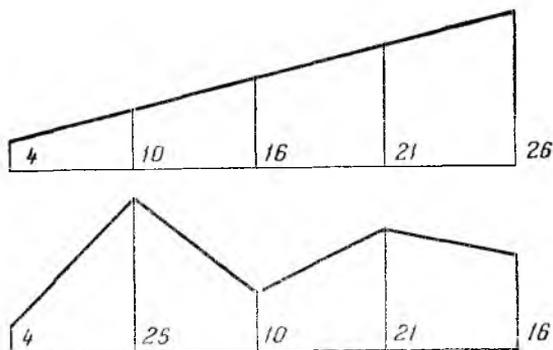


Рис. 42. Различный характер изменчивости при одинаковой степени изменчивости

Теория вероятности исследует стохастическое распределение, т. е. такое, при котором значения признака в изучаемом коллективе совершенно случайны и не связаны между собой численной зави-

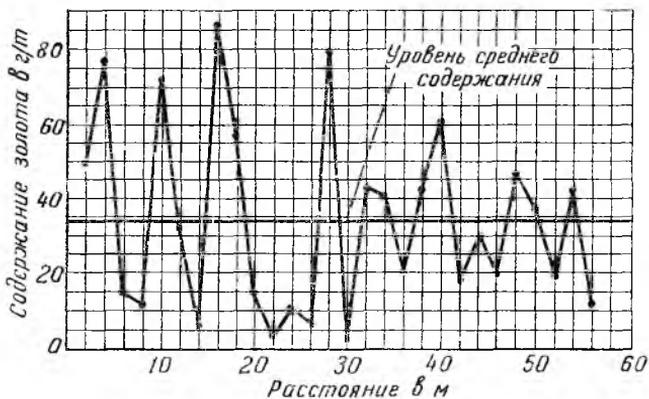


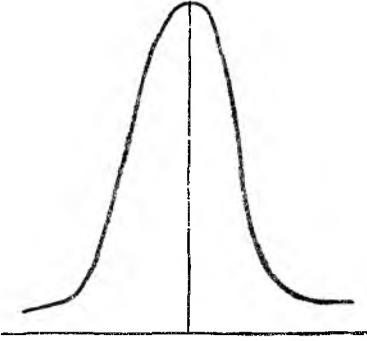
Рис. 43. Беспорядочные колебания содержаний по изотопному компоненту (по П. Л. Каллистову)

симостью. При наличии же координированных изменений какого-либо признака (свойства) вычисленная величина коэффициента вариации дает обычно преувеличенное представление об изменчивости.

При определении средних величин в математике всегда учитывается погрешность (m), с которой эти величины вычислены

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Эту погрешность (обычно она задается) удобно выражать в процентах по отношению к среднему арифметическому



$$p = \pm \frac{m}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Из сравнения формул (1) и (4) следует

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= m \sqrt{n} = \frac{VM_{\text{ср}}}{100} \\ \text{или} \\ m &= \frac{VM_{\text{ср}}}{100 \sqrt{n}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Рис 44 Кривая нормального распределения

Подставив последнее выражение в формулу (5), получим

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{V}{\sqrt{n}} \\ \text{или} \\ n &= \left(\frac{V}{p} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Иными словами, число необходимых измерений (величина выборки) для определения среднего значения какой-либо величины прямо пропорционально квадрату коэффициента вариации этой величины и обратно пропорционально квадрату погрешности, с которой это среднее значение должно быть определено. Это важное положение указывает на аналитически рациональные приемы определения необходимого числа различного рода измерений и исследований в процессе разведки.

В уравнение (7) должен вводиться множитель t , характеризующий вероятность того, что ошибка определения среднего значения признака, найденного в результате серии наблюдений, не будет больше величины p . Тогда это уравнение принимает вид

$$p = \frac{tV}{\sqrt{n}} \quad \text{или} \quad n = \left(\frac{tV}{p} \right)^2 \quad (8)$$

При нормальном распределении значений признака (свойств) по закону Гаусса (рис. 44) каждому значению t соответствует определенная величина вероятности.

Значение t	1	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5	3,0
Величина вероятности, %	68,3	77,0	87,0	91,0	95,0	98,8	99,7

Эта характеристика служит критерием надежности расчетов.

К сожалению, в практике разведочного дела определение величины n связано со значительными трудностями в связи с тем, что статистическое распределение значений какого-либо свойства полезного ископаемого в большинстве случаев не следует закону нормального распределения (кривой Гаусса). Обычно статистическое распределение содержания полезного компонента в рудах отличается резкой асимметрией относительно среднего содержания (рис. 45). Поэтому, как указывает П. Л. Каллистов, равновероятные положительные и отрицательные ошибки не равновелики, а равновеликие ошибки не равновероятны. Кроме того, при асимметричном распределении количества положительных и отрицательных отклонений признака неодинаковы. Все это не позволяет непосредственно использовать существующие формулы (или таблицы) нормального интеграла вероятностей, хотя в практике разведки известны случаи полного подчинения закону Гаусса (например, опробование руды в вагонах). Во многих же других случаях коэффициентом вариации целесообразно пользоваться для ориентировочных суждений.

Коэффициент корреляции. Весьма важно отметить еще одну проблему, связанную с изменчивостью свойств полезного ископаемого. Дело в том, что рассматривая месторождение в целом, можно наблюдать два рода изменчивости различных свойств. В одном случае изменения двух или нескольких свойств месторождения происходят более

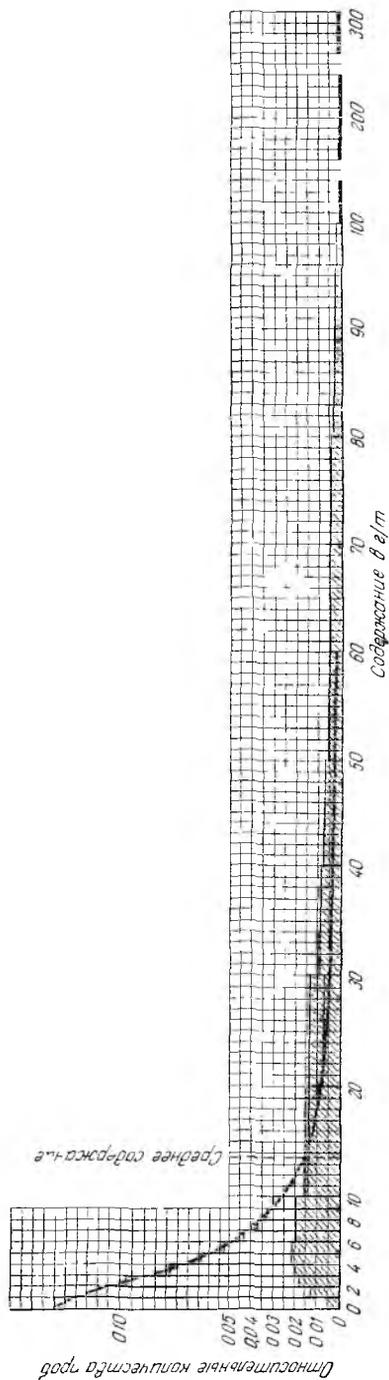


Рис. 45. Распределение значений содержания золота по жиле «М»

или менее согласованно, например с уменьшением мощности рудного тела уменьшается (или увеличивается) и содержание металла в руде или с уменьшением содержания свинца уменьшается и содержание серебра в руде. В другом случае, наоборот, изменения различных свойств происходят несогласованно.

В большинстве случаев явления изменчивости различных свойств полезного ископаемого порождаются весьма разнообразными и многочисленными причинами, часто настолько сложными, что коллечественный их учет поддается лишь статистическим методам. В математической статистике проблеме выяснения связей между совместно наблюдаемыми явлениями посвящена специальная теория — теория корреляции.

В отличие от функциональной зависимости, когда каждому значению x соответствует одно определенное значение y , зависимость статистическая характеризуется тем, что всякому значению x соответствует не одно значение y , а некоторое распределение значений y , изменяющееся вместе с изменением x . Практически исследуются связи между некоторыми условными средними значениями одной величины и соответствующими значениями другой. Связь между условными средними значениями x и соответствующими значениями y называется корреляционной связью.

Мерой линейной связанности x и y служит коэффициент корреляции r . Когда $r = 0$, то значения x и y (а следовательно, и выражаемые ими свойства) не связаны между собой. При $r = \pm 1$ значения x и y находятся между собой в функциональной зависимости. Все значения коэффициента корреляции в промежутке между 0 и ± 1 характеризуют ту или иную степень их линейной статистической зависимости. Чем ближе r к ± 1 , тем теснее связь между явлениями (свойствами); чем ближе r к нулю, тем связь между ними слабее.

Вычисление коэффициента корреляции r может быть произведено несколькими путями (Длин, 1958.) Практически для вычисления r наиболее часто пользуются следующей формулой:

$$r = \frac{\sum a_x a_y}{\sqrt{\sum a_x^2 \sum a_y^2}}, \quad (9)$$

где a_x — отклонения измерений от среднего значения для ряда измерений одного свойства;

a_y — отклонения измерений от среднего значения для ряда измерений другого свойства.

Для удобства определения $\sum a_x a_y$, $\sum a_x^2$, $\sum a_y^2$ составляют таблицы, в которые сводят значения измеренных свойств x и y , вычисленные отклонения a_x и a_y , их квадраты a_x^2 и a_y^2 и произведения $a_x a_y$. Например, если хотя бы выяснить степень тесноты корреляционных связей между мощностью рудной жилы и содержанием в ней полезного минерала (металла), данные измерений и анализ оформляют, как показано в табл. 24.

Пример вычисления коэффициента корреляции

Номера проб	Содержание золота			Мощность жилы			Произведения отклонений $a_x a_y$
	результаты измерений (в г/т) x	отклонения от среднего содержания (в г/т) a_x	квадраты отклонения a_x^2	результаты измерений (в см) y	отклонения от средней мощности (в см) a_y	квадраты отклонения a_y^2	
25	10,5	+1,59	2,53	32	+5,1	26,01	+8,1
26	6,8	-2,11	4,45	36	+9,1	82,81	-19,2
27	6,7	-2,21	4,88	35	+8,1	65,61	-17,9
28	8,3	-0,61	0,37	28	+1,1	1,21	-0,7
29	27,2	+18,29	334,52	48	+21,1	445,21	+385,9
30	19,5	+10,59	112,15	56	+29,1	846,81	+308,2
31	8,4	-0,51	0,26	22	-4,9	24,01	+2,5
32	4,0	-4,91	24,11	20	-6,9	47,61	+33,9
33	22,4	+13,49	181,98	16	-10,9	118,81	-147,0
34	5,7	-3,21	10,30	20	-6,9	47,61	+22,1
35	3,9	-5,01	25,10	26	-0,9	0,81	+4,5
36	4,2	-4,71	22,18	18	-8,9	79,21	+41,9
37	2,7	-6,21	38,56	20	-6,9	47,61	+42,8
38	1,8	-7,11	50,55	14	-12,9	166,41	+91,7
39	1,6	-7,31	53,44	12	-14,9	222,01	+108,9
Сумма	133,7	—	865,38	403	—	2221,75	+865,7
Среднее	8,91	—	—	26,9	—	—	—

Подставив полученные в таблице итоги в формулу (9), найдем величину коэффициента корреляции

$$r = \frac{\sum a_x a_y}{\sqrt{\sum a_x^2 \sum a_y^2}} = \frac{+865,7}{\sqrt{865,4 \cdot 2221,7}} = +0,624.$$

Морфологические черты рудных тел и их изменчивость

С момента, когда месторождение вступает в период собственно разведки, оно подвергается изучению во всех трех измерениях пространства.

Все тела полезных ископаемых по геометрическому признаку подразделяются на три основных морфологических вида.

Первый вид, представленный телами с одним коротким и двумя длинными размерами, включает горизонтальные, пологие и крутонадающие пласты и пластообразные залежки. К этому же виду относятся жилы, линзы и другие плоские тела. Этот вид тел имеет наибольшее распространение в природе.

К о второму виду тел — с одним длинным и двумя короткими размерами — относятся трубы и подобные им по форме тела.

К третьему виду принадлежат тела, более или менее изометричные или близкие к изометричным; это крупные штокерки и массивы или небольшие гнезда, карманы, погребя и другие мелкие тела.

Если в период поисков иногда намечается только контур месторождения в плане, а на поисково-разведочной стадии работы обычно затрагивают небольшой приповерхностный слой участка, занятого месторождением (не считая геофизических работ), то разведочные мероприятия направлены главным образом на раскрытие глубин месторождения.

Кроме получения общего представления о форме, весьма важной задачей, от решения которой зависит успех изучения как формы, так и размеров месторождения, является выяснение структуры месторождения и в особенности тех структурных черт, которые часто определяют ход и результаты разведочного процесса. К ним относятся дорудные складчатые и разрывные нарушения, внутри- и послеминерализованные нарушения, условия локализации рудных столбов, фациальные изменения вмещающих пород, влияющие на морфологию и пространственное распределение полезного ископаемого, характер контактов рудных тел и др. Все эти вопросы детально рассматриваются в учении о месторождениях полезных ископаемых.

Рудные столбы обычно легче обнаружить и проследить в процессе эксплуатации, т. е. в период работы рудничного геолога. Но учитывать возможность их обнаружения нужно еще при разведке, тем более, что последняя во многих случаях ведется с помощью горных работ.

В экзогенных месторождениях, таких, как залежи солей, осадочных железных руд, бокситов, силикатного никеля, песков, гравия и др., а также в остаточных месторождениях коры выветривания и россыпях нередко имеются участки местного увеличения объема или повышенной концентрации полезного ископаемого, образующиеся главным образом вследствие фациальной изменчивости осадконакопления.

Весьма важным вопросом в процессе разведки является качественная и количественная характеристика изменчивости формы.

Большинство месторождений полезных ископаемых представлено телами с двумя длинными размерами и одним коротким (пласты, линзы, жилы). Изменчивость морфологических свойств подобных месторождений обычно носит плавный и непрерывный характер. Все изменения мощности, за исключением резких тектонических разрывов, могут быть отнесены к направленным, или координированным изменениям, т. е. к таким, которые связаны определенной зависимостью. В случае закономерной изменчивости нет необходимости прибегать к математической статистике для выяснения интенсивности изменчивости.

В случае же беспорядочных, или случайных, изменений мощности или площади сечения какого-либо причудливого метасоматического тела, например полиметаллической залежи в известняках, изменчивость его формы может быть весьма приблизительно охарактеризована с помощью коэффициента вариации по мощности $V_m = \frac{\sigma_m}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\%$, или по площади сечения $V_s = \frac{\sigma_s}{S_{\text{ср}}} \cdot 100\%$.

Нередко тела полезного ископаемого пережимаются, т. е. их мощность на каком-то интервале уменьшается до нуля. Часто месторождения бывают представлены серией параллельных кулисообразно расположенных рудных тел или группой мелких линз и гнезд, разделенных более или менее значительными интервалами пустых пород. Таким образом, во многих случаях отсутствует непрерывность промышленной минерализации. В связи с этим возникло понятие о степени прерывистости минерализации, которую В. И. Бирюков предложил выражать коэффициентом прерывистости.

Пока же в практике пользуются коэффициентом рудоносности (γ), который определяется как отношение суммы площадей, занятых промышленной минерализацией (s), ко всей площади месторождения (S), или отношением суммы длин выработок с промышленной минерализацией (l) к длине всех выработок (L)

$$\gamma = \frac{\sum s}{S}; \quad \gamma' = \frac{\sum l}{L} \quad (10, 11)$$

Качество полезного ископаемого и его изменчивость

Под качеством полезного ископаемого следует понимать его свойства, определяющие способность ископаемого удовлетворять потребности общественного производства. Чем выше потребность и чем меньше возможности ее удовлетворения, тем худшие сорта полезного ископаемого вовлекаются в производство и, наоборот, с сокращением потребности и расширением возможностей сырьевой базы той или иной отрасли промышленности начинают использоваться лишь лучшие его сорта. Можно, конечно, учитывать качество и стоимость сырья на главных мировых биржах.

Понятие о качестве полезного ископаемого зависит также от технического прогресса и прежде всего от технологии переработки (если речь идет о руде) или от условий прямого использования минерального сырья (уголь, строительные материалы). Бывает, что промышленно ценный металл содержится в таких минеральных формах, которые при современном состоянии техники переработки не дают возможности его рентабельно извлечь (алюминий в глине, сурьма, молибден и цинк в окисленных рудах и т. п.). Но с развитием металлургии и усовершенствованием технологии переработки руд появляется возможность получать металлы из прежде недоступных руд (как это было, например, с извлечением никеля из сили-

катов, алюминия из алунитов, нефелина и т. п.), в связи с чем и качество этих руд оценивается уже по-другому.

Качество полезного ископаемого обычно определяется несколькими показателями, которые можно подразделить на два вида.

К первому виду относятся показатели, характеризующие содержание полезных компонентов и вредных примесей. Эти показатели выражаются для разных полезных ископаемых по-разному: в процентах (содержание элементов, окислов или минералов), в граммах на тонну, в граммах на кубический метр.

Качественные показатели второго вида характеризуют физические свойства полезного ископаемого: размеры кристаллов или моноблоков, твердость, хрупкость, вязкость, эластичность, гибкость, крепость, морозостойкость, влагоемкость, кусковатость, удельный и объемный вес и пр. Минеральное топливо часто оценивается по теплотворной способности (калорийности).

Некоторые месторождения минерального сырья требуют изучения показателей того и другого видов.

Большая часть руд полезных ископаемых представляет собой комплексное минеральное сырье, т. е. содержит несколько полезных компонентов, не говоря уже о рассеянных элементах, и может быть использована в нескольких направлениях. Поэтому и исследования минерального сырья должны быть комплексными, т. е. в процессе этих исследований нужно определять как содержание полезных компонентов, так и их важнейшие физические свойства, чтобы можно было установить пригодность полезного ископаемого для использования в тех или иных отраслях промышленности. Особое внимание надо обращать на присутствие в рудах редких элементов или рассеянных, свойственных почти всем рудам.

Большинство месторождений имеет неоднородное строение, обусловленное различными природными факторами. Это вызывает необходимость разделения всей массы полезного ископаемого на природные типы и промышленные сорта *. При этом в одних случаях природный тип полезного ископаемого может соответствовать определенному сорту минерального сырья, в других — промышленный сорт включает в себя несколько природных типов полезного ископаемого, а в третьих — в составе природного типа различается несколько промышленных сортов.

Причины неоднородности месторождений полезных ископаемых заключаются в их генетических особенностях, порождающих зональность, изменчивость качества и др. Целесообразно различать два вида зональности: 1) первичную, обусловленную особенностями процесса формирования месторождения и 2) вторичную, вызванную экзогенными процессами окисления, выщелачивания и переотложения элементов и соединений, слагающих месторождение.

* Конечно, все руды — природные; здесь приведены два термина: «природные типы» и «промышленные сорта» — только для того, чтобы подчеркнуть важнейший факт — технологическую освоенность некоторых природных типов руд.

Важно изучать и текстурную неоднородность полезного ископаемого. Минеральный состав и текстура руды в основном обуславливают выбор способов и схемы обогащения. Крупность зерен и агрегатов полезного минерала предопределяет степень дробления руды в процессе обогащения. От текстурных особенностей данного минерального сырья зависит не только выбор способа опробования, но и методика его испытания.

По всем этим показателям и оцениваются как характер, так и степень изменчивости качества полезного ископаемого. Обычно этот фактор — степень изменчивости качества — значительно важнее при разведке, чем изменчивость формы.

Степень изменчивости содержания полезного компонента определяется по-разному в зависимости от характера изменчивости. При беспорядочной изменчивости степень ее может быть найдена непосредственно с помощью коэффициента вариации.

При характеристике изменчивости качества полезного ископаемого может найти применение коэффициент корреляции r , с помощью которого можно оценить степень согласованности изменений каких-либо двух признаков: содержания различных металлов в рудах, или содержания полезного компонента и какого-либо физического свойства, или качества и формы и т. п.

Наличие корреляционных связей, например, между содержанием свинца и серебра в полиметаллических рудах позволяет с помощью коэффициента корреляции достаточно точно подсчитать запасы серебра в зависимости от запасов свинца, резко сократив число дорогостоящих химических анализов на серебро. Эта же зависимость помогает решать вопросы технологической переработки полиметаллической руды.

3. ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ

Несмотря на большое разнообразие месторождений полезных ископаемых, в основу разведки любого месторождения могут быть положены одни и те же п р и н ц и п ы, 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.

Основными положениями разведки являются:

- 1) принцип последовательных приближений;
- 2) принцип полноты исследований (включая принцип геологического прогноза и его проверки);
- 3) принцип равной достоверности (равномерности);
- 4) принцип наименьших затрат средств и времени.

П р и н ц и п п о с л е д о в а т е л ь н ы х п р и б л и ж е н и й говорит о постепенном наращивании знаний об изучаемом месторождении и 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 поисково-разведочной стадией поискового этапа следуют, сменяя друг друга, предварительная, детальная и эксплуатационная стадии разведочного этапа. Геологическая служба СССР, даже горная промышленность, особенно в части проектирования, построены на принципе последовательных приближений. Приведенное 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 двух-трех лет (например, Курская магнитная аномалия).

С принципом последовательных приближений тесно связан другой, практически самостоятельный принцип геологического прогноза и его проверки. Этот принцип, выдвинутый А. В. Пэком, основан на изучении геологического строения месторождений. Ведь практически проектирование каждой разведочной выработки основывается на геологическом прогнозе, и ее проходка или подтверждает (уточняет) прогноз, или заставляет внести в него коррективы, или, наконец, требует перестройки выдвинутых представлений. Таким образом, принцип геологического прогноза и его проверки лишней раз подтверждает важность принципа последовательных приближений и подчеркивает принадлежность учения о поисках и разведке к геологическому циклу наук.

Принцип полноты* исследований требует не только решения основных задач разведки (определения качества и количества минерального сырья), но и получения всех данных, необходимых для проектирования и строительства горнорудного предприятия. Очевидно, что полнота исследований также постепенно нарастает вместе со сменяющимися стадиями, так как даже сформулировать все требования к данной стадии разведки невозможно в начале работ. Тем не менее можно назвать главные вопросы, которые нужно решить как можно раньше. Прежде всего это установление комплексности данного сырья, а также полного контура и размера месторождения вкrest простирания. Под последним подразумеваются как надежные разрезы самого рудного тела, так и вмещающих пород; если на участке месторождения имеется несколько рудных тел, контур нужно получить для каждого тела. Получение контура и разреза — 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

* Термин «полнота» недостаточно выразителен, так как под ним понимается не только «полнота» выполнения всех основных задач разведки, но и увязка их с требованиями горного дела и технологии переработки руд на основе «глубины» понимания геологии месторождения.

эго с возможностями промышленного освоения месторождения или целого района.

Важнейшим положением принципа полноты исследований является увязка с технологией добычи и обработки 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 также и вмещающих пород, которые будут так или иначе захвачены будущим карьером. Совершенно ясна необходимость комплексного использования самих выработок (например, для откачки воды, установления физических свойств руд и вмещающих пород, исследования пород как стройматериалов и г. 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 формы 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) расстояние между выработками необходимо принимать большее, чем по направлению большей изменчивости (например, по простиранию). Расположение выработок по этому принципу соответствует характеру изменчивости месторождения. Детальность и достоверность исследований, отвечающие данной стадии разведки, а также равномерность результатов достигаются не только соответствующим расположением выработок, но и применением технических средств, равноценных по своим возможностям.

Заложение разведочных сеток, конечно, есть неизбежный результат нашего «незнания» месторождения до его разведки. С точки зрения математической статистики тело полезного ископаемого (или месторождение) представляет собой совокупность, свойства которой могут рассматриваться как случайные величины. Изучение этих свойств как случайных величин 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 меньше количество выработок (проверочных), но даже и в этом случае нужно стремиться равномерно осветить те или иные участки месторождения.

Столетний опыт разведки во всем мире показал, что принцип равномерности сказывался как в заложении равномерных разведочных сеток, так и равных расстояниях между пунктами всевозможного опробования.

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, требования принципа полноты исследования потенциально содержат стремление заложить максимальное количество разведочных выработок, чаще и в большом объеме отбирать пробы и производить другие разнообразные виды работ. С другой стороны, принцип наименьших затрат предполагает производство минимальных объемов геологоразведочных работ. Принцип последовательных приближений, предусматривая 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.

Рассмотренные принципы разведки приложимы также и к поисковым работам.

4. МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ

Основными методами разведки следует назвать три общих для всякой разведки мероприятия, соответствующие главным звеньям геологоразведочного процесса: 1) создание системы разрезов; 2) опробование полезного ископаемого; 3) оценочное сопоставление (по В. И. Бирюкову).

Создание разведочных геологических разрезов представляет 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. 46, а), б) метод горизонтальных разрезов или сечений (рис. 46, б); в) метод горизонтальных и вертикальных разрезов (рис. 46, в).

Кроме метода геологических разрезов, современная наука и практика не располагают сколько-нибудь надежными способами определения формы, внутреннего строения и условий залегания разво

образных 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. Изолинии мощностей, строго говоря, также есть не что иное как контуры некоторых сечений (разрезов) тела полезного ископаемого.

Разрезы создаются 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.

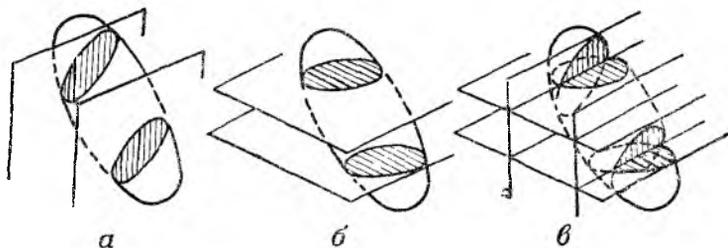


Рис. 46. Основные виды разведочных разрезов

а — схема вертикальных разрезов, б — схема горизонтальных разрезов, в — схема вертикальных и горизонтальных разрезов

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого. Иного способа для выяснения его качества в процессе разведки не существует.

Нельзя не отметить весьма перспективное направление в разведочном опробовании, предполагающее применение различных геофизических средств (гамма-гамма-каротаж, 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.

Оценочное сопоставление сопутствует непрерывно всему процессу разведки месторождения. Каждая новая разведочная выработка дает новые сведения о размерах разведываемой залежи, качестве полезного ископаемого, и данные каждой выработки подвергаются немедленной оценке: определяются промышленные границы залежи, намечается сорт руды и т. п.

В основе способов социалистической оценки лежит понятие о народнохозяйственной целесообразности эксплуатации данного

месторождения Эта целесообразность 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.

5. СТАДИИ РАЗВЕДКИ

Этап разведки месторождений полезных ископаемых подразделяется на три стадии:

- 1) предварительная разведка;
- 2) детальная разведка;
- 3) эксплуатационная разведка.

Это подразделение разведочного этапа на стадии непосредственно вытекает из первого принципа разведки — последовательных приближений.

Предварительная разведка преследует цели выяснения общих размеров месторождения и получения приближенного представления о форме, размерах и качестве основных тел полезного ископаемого, составляющих сложное месторождение. В эту стадию завершается детальное изучение поверхности месторождения на основе уточнения крупномасштабной геологической карты.

Если на поисково-разведочной стадии поискового этапа геологическая съемка нередко ведется на глазомерной или полуинструментальной основе, то к началу предварительной разведки необходимо иметь достаточно точную геологическую карту масштаба 1 : 10 000—1 : 5000, составленную на инструментальной топографической основе. В соответствии с этой картой направляются первые разведочные работы. На стадии предварительной разведки разведочные выработки задаются уже по определенной системе и некоторые из них доводятся до большой глубины.

Для освещения глубоких горизонтов месторождения и фиксации нижней границы оруденения часто бывает целесообразно до начала постепенного разбуривания месторождения сразу же пройти одну-две скважины до глубины, где предполагается наличие полезного ископаемого, это дает возможность перевести запасы данного месторождения или рудного тела в категорию C_2 или C_1 (в зависимости от типа месторождения).

Разведочные выработки целесообразно паносить одновременно на имеющуюся карту рудного поля и на новую топографическую основу масштаба 1 : 2000—1 : 1000 (редко 1 : 5000 или 1 : 500).

Все эти предварительные разведочные мероприятия дают возможность с большей или меньшей степенью достоверности определить размеры месторождения (его общий «масштаб»), элементы залегания рудных тел, особенности вмещающих пород; а также приблизительно выяснить качество полезного ископаемого, а иногда и выделить основные природные типы руд. На основании данных пред-

варительной разведки месторождения выбираются участки для последующей детальной разведки. Если разведывается очень крупное месторождение, то перспективные участки под детальную разведку первой очереди составляют небольшую часть всего месторождения. Мелкие же месторождения обычно целиком переходят в стадию детальной разведки.

По результатам предварительной разведки производится подсчет запасов и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), содержащий надежную промышленную оценку месторождения.

Детальная разведка производится только в том случае, если месторождение должно эксплуатироваться в ближайшие годы. Нет смысла вкладывать значительно большие по сравнению с предварительной разведкой средства в объект, промышленное освоение которого откладывается на неопределенное время.

На стадии детальной разведки с высокой степенью точности обрисовываются контуры каждого тела полезного ископаемого и выявляются его элементы залегания с учетом всех возможных изменений, вызванных складчатыми и разрывными нарушениями; результаты исследований наносятся на карту, составленную на стадии предварительной разведки в масштабе от 1 : 2000 до 1 : 500 (в зависимости от размеров и сложности месторождения).

На стадии детальной разведки производится пространственное расчленение месторождения по природным типам и промышленным сортам полезного ископаемого на основании установленных промышленных условий (кондиций). В связи с этим, помимо химических анализов и минералогических исследований полезного ископаемого, производятся испытания технологических свойств каждого его сорта. Вопросы водоносности участка месторождения, физических свойств вмещающих горных пород и другие горнотехнические вопросы, выясненные в стадию предварительной разведки только приблизительно, при детальной разведке должны быть освещены на основе точных измерений и специальных исследований.

Естественно, что для получения разнообразных и достаточно точных сведений о месторождении в стадию детальной разведки приходится проводить новые разведочные выработки и, таким образом, уплотнять разведочную сеть особенно в наиболее сложных по геологическому строению участках и в местах наиболее богатых скоплений полезного ископаемого. Однако в этот период нужно проводить только те выработки, проходку которых нельзя отложить до стадии эксплуатационной разведки, так как они необходимы для составления проекта эксплуатации месторождения.

На основании детальной разведки уже значительно более точно подсчитываются запасы полезного ископаемого в блоках по сортам, выделенным пространственно на разведочных планах и разрезах.

По результатам детальной разведки, составляется технический проект эксплуатации месторождения. В зависимости от размеров месторождения оно может быть после детальной разведки передано

для промышленного освоения или все целиком, или в случае очень крупных объектов — по частям. Следовательно, и технический проект разработки месторождения может быть общим или слагаться из нескольких частей.

При ведении детальных разведочных работ следует с самого начала поддерживать связь с проектной организацией. Это дает возможность своевременно учесть требования проектировщиков и тем самым избежать в дальнейшем дополнительных работ.

Эксплуатационная разведка начинается с момента организации добычи полезного ископаемого. Она пространственно и по времени немного опережает горноэксплуатационные работы, сопровождая разработку месторождения почти до ее окончания.

Разведка, производимая в процессе эксплуатации месторождения полезного ископаемого, отличается наибольшей точностью, так как сеть выработок, используемых разведчиком, в этот период наиболее густая; в их число, помимо прежних и новых разведочных выработок, входит множество горных подготовительных выработок: штреков, ортов, восстающих, рассечек. На стадии эксплуатационной разведки уточняется строение тел полезного ископаемого как в отношении их форм, так и в отношении границ, разделяющих сорта, а также мелкие тектонические нарушения и смещения. Разведочные работы и подземное геологическое картирование ведутся уже в масштабах от 1 : 500 до 1 : 100 на маркшейдерской основе, что позволяет заметить все необходимые и ранее неучтенные детали строения месторождения.

Все горнопроходческие вопросы и вопросы технологии переработки полезного ископаемого также подвергаются уточнению по отдельным, сравнительно небольшим участкам месторождения, определяемым границами какого-либо эксплуатационного участка. Устойчивость вмещающих пород уже рассматривается не вообще, а по каждому данному блоку. Приток подземных вод изучается не вообще, а по данной шахте и т. д.

На основании эксплуатационной разведки подсчет запасов полезного ископаемого выполняется наиболее точно, с детализацией по отдельным мелким участкам (этажам, блокам, усгупам), что позволяет вести систематический учет добытого и оставшегося в недрах полезного ископаемого по каждому эксплуатационному участку и по различным сортам. По данным эксплуатационной разведки ведется текущее производственное планирование добычи полезного ископаемого, направляются подготовительные и очистные выработки, составляется баланс запасов и добычи.

В практике геологоразведочных работ в одних случаях стадии разведки отчетливо отделяются друг от друга, в других — сливаются в непрерывную цепь разведочного процесса так, что трудно найти границу между предварительной и детальной разведкой (эксплуатационная разведка обычно довольно точно фиксируется во времени моментом начала добычи полезного ископаемого). Но

Так или иначе эти стадии существуют, и главный практический смысл их разделения состоит в том, чтобы не допускать перехода к детальной разведке, связанной с затратой больших средств, не проводя предварительной разведки для отбраковки каких-либо частей месторождения или даже всего месторождения, оказавшегося непромышленным. Одним словом, детальная разведка отделена от предварительной составлением ТЭДа (технико-экономического доклада).

Некоторое исключение составляет разведка весьма капризных месторождений: мелких гнезд оптических минералов, драгоценных камней, платиноносных хромитов, редкометалльных пегматитов и т. п. Эти месторождения потребовали бы для своей предварительной разведки сеть горных разведочных выработок почти такой же плотности, какая необходима для подготовки их к эксплуатации. Поэтому после стадий поисково-разведочных работ они сразу подвергаются эксплуатационной разведке, которая в то же время является предварительной и детальной. Допускаемый при этом риск излишних затрат на разведочно-эксплуатационные выработки обычно окупается ценностью полезного ископаемого. В некоторых случаях на менее капризных месторождениях детальная и эксплуатационная разведка также сливаются в одно целое.

6. ПРОСЛЕЖИВАНИЕ И ОКОНТУРИВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разведочный процесс практически сводится к прослеживанию и оконтуриванию тел полезного ископаемого и всего месторождения в целом. Это еще в 1929 г. было показано И. С. Васильевым в период формирования первых теоретических основ разведочного дела. Действительно, уже в поисково-разведочной стадии начинается прослеживание полезного ископаемого на поверхности, а полностью оно заканчивается на глубине в период эксплуатации месторождения.

Прослеживание и оконтуривание тел полезного ископаемого начинается с получения элементарных представлений о его форме, а затем эти представления постепенно уточняются. Понятия «прослеживание» и «оконтуривание» применимы к разведочным работам на полезное ископаемое любого типа и предполагают постепенность развития представлений о разведываемом объекте.

Необходимость прослеживания и оконтуривания тел полезных ископаемых вытекает из принципов последовательных приближений и полноты исследований. В соответствии с принципом полноты исследований разведочные выработки должны полностью пересекать тело полезного ископаемого, чтобы освещать морфологические и качественные особенности этого тела в данном направлении на всем его протяжении. Несколько смежных выработок всегда предпочтительно располагать так, чтобы по ним возможно было построить разрез. Поэтому разведочные выработки должны располагаться по возможности в одной плоскости, т. е. в плоскости намечаемого разреза.

Ориентировка разведочных разрезов должна быть такой, чтобы по ним можно было достаточно отчетливо видеть форму, элементы

залегания и внутреннее строение тел полезного ископаемого, а также соотношение его с боковыми породами. Поэтому первым условием ориентировки разведочных разрезов является соблюдение правила: разведочные выработки (и разрезы) должны ориентироваться по направлениям максимальной изменчивости формы и свойства тела полезного ископаемого.

Обычно направление максимальной изменчивости тела полезного ископаемого совпадает с линией его мощности. Поэтому в большинстве случаев разведочные разрезы ориентируются вкrest простирания тела полезного ископаемого или рудной зоны (и обычно пород или структур). Это положение относится к телам первого (см. стр. 182) морфологического вида (пластам, жилам, ливзам), наиболее распространенного в природе.

В практике обычно тела полезных ископаемых, имеющие определенное простирание и угол падения (т. е. наклонные и крутопадающие), разведываются путем проходки разведочных линий вкrest простирания.

Тела второго морфологического вида (трубы и вытянутые штоки) разведываются системой разрезов, различно ориентированных в зависимости от положения тела в пространстве. Горизонтальные или пологие трубы, имеющие определенную протяженность, должны рассекаться вертикальными разрезами вкrest простирания (вернее, протяжения), как и тела первого морфологического вида, ибо максимальная изменчивость свойств трубообразного тела полезного ископаемого чаще всего имеет место в поперечном направлении. Крутопадающие трубы целесообразно рассекать горизонтальными разрезами.

Изложенное позволяет сформулировать второе правило ориентировки разведочных разрезов: плоскости разведочных разрезов ориентируются обычно поперек наиболее длинного размера тела полезного ископаемого. Исключение составляют некоторые сложные по строению тела полезных ископаемых, в которых линия наибольшей изменчивости свойств резко отклоняется от линии, лежащей вкrest простирания. В этом случае разведочные выработки и разрезы могут ориентироваться по направлению простирания (например, по простиранию вмещающей дайки, но вкrest простирания жилы, как на Березовском месторождении, рис. 47).

Тела, принадлежащие к третьему морфологическому виду, имеют более или менее одинаковые размеры во всех трех измерениях. В таких случаях ориентировка разведочных разрезов (и выработок) должна производиться с учетом видимой полосчатости или иной изменчивости внутреннего строения тела полезного ископаемого. Если же изометрические тела не обладают закономерной изменчивостью качества в каком-либо направлении, являясь телами «изотропными», то ориентировка разведочных разрезов может быть различной и определяется техническими соображениями. Обычно в таких случаях строится система взаимно перпендикулярных разрезов.

Разведочные разрезы являются более точными построениями по сравнению с другими геологическими разрезами, например иллюстрирующими геологическую карту. Точность разведочных разрезов зависит от двух обстоятельств: 1) сложности геологического строения месторождения и 2) применяемых средств разведки (например, от качества пробуренных разведочных скважин).

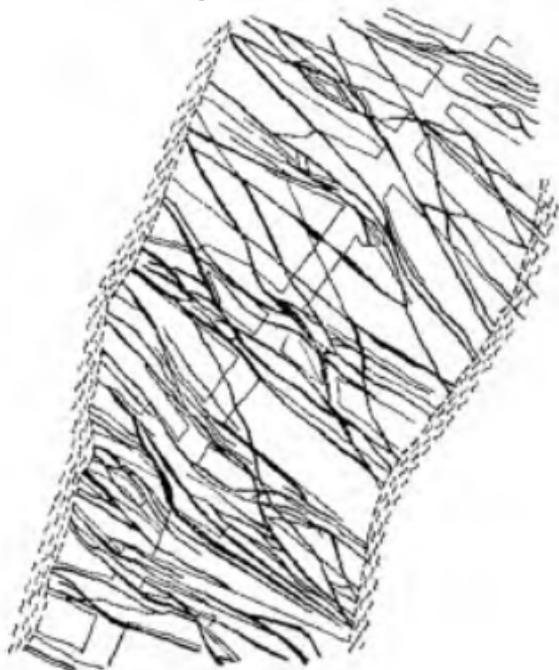


Рис. 47. Участок Березовской золоторудной дайки

Если разведочная выработка проводится по простиранию или по падению тела полезного ископаемого, которое укладывается в габариты выработок, то контуры этого тела определяются наиболее точно. Менее точны контуры тела полезного ископаемого, показываемые на разрезах, которые строятся с помощью интерполяции.

При разведке месторождений сложного строения фактический материал часто позволяет построение разведочных разрезов в нескольких вариантах (рис. 48), а иногда данные разведочных выработок в таких разрезах не увязываются и поэтому построение их не точно.

Большое влияние на точность разрезов оказывают применяемые для разведки технические средства. Разрезы, построенные по горным выработкам, точнее разрезов, построенных на основании буровых

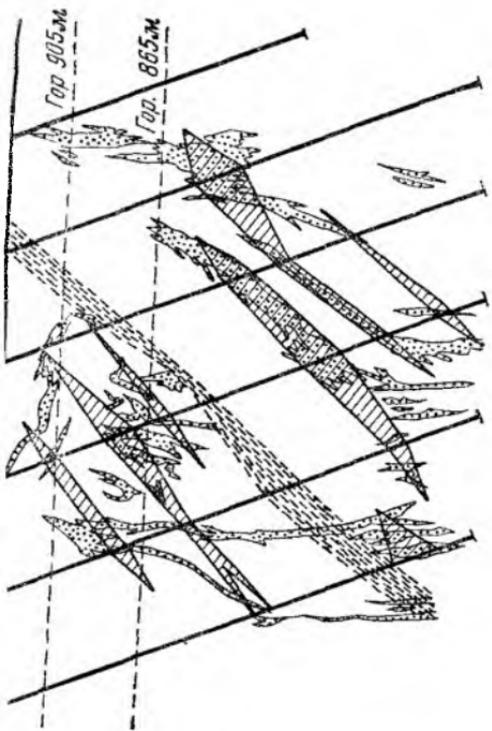
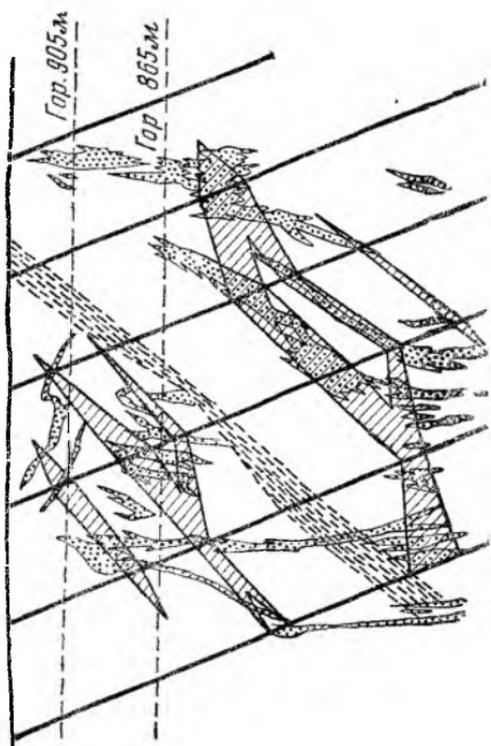
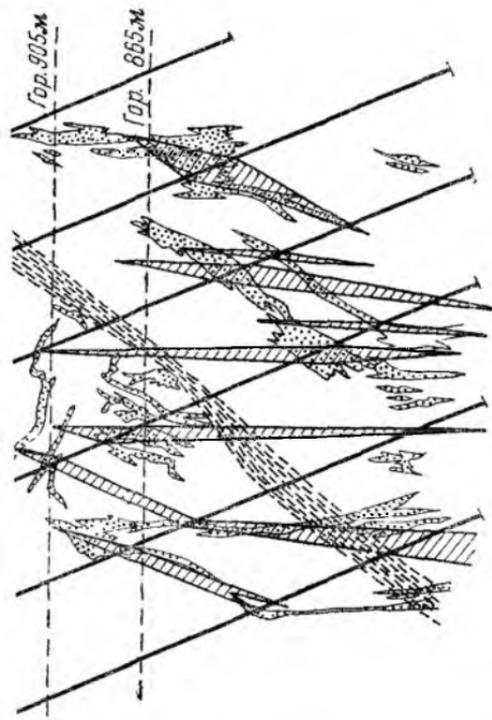


Рис. 48. Возможные варианты построения контуров морфологически сложных рудных тел по одним и тем же разведочным данным (по Д. А. Зенкову)
 1 — истинные сечения рудных тел, 2 — сечения рудных тел полученные путем интерполяции, 3 — зоны нарушений



скважин, а последние в свою очередь значительно различаются по точности в зависимости от качества буровых работ и сопутствующих им измерений (каротаж и замеры искривлений буровых скважин и др.). Наиболее точные данные опробования получаются также при использовании горных выработок.

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 ($40-50^\circ$). Трубообразные тела также оконтуриваются обычно в плане (пологие) или в вертикальной проекции (крутые). Изометрические тела полезных ископаемых могут оконтуриваться в любой плоскости, но обычно в силу ряда технических причин их удобнее оконтуривать в плане.

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 горными выработками (штреками), закладываемыми вдоль обоих контактов со сбоями между ними. Иногда трубы и изометричные тела оконтуриваются на каком-либо горизонте кольцевым штреком, идущим по контакту. Очень редко контуры тела можно наблюдать 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. По данным разведки проводятся внешний (предполагаемые естественные границы) и внутренний контуры (рис. 49).

Проведение внешнего контура осуществляется двумя: а) способом ограниченной экстраполяции; б) способом неограниченной экстраполяции.

В первом случае возможности экстраполяции ограничены пределами полосы между рядом выработок, вскрывших полезное ископаемое, и «пустыми» выработками; контур обычно проводится посредине между упомянутыми выработками.

В случае неограниченной экстраполяции задача проведения внешнего контура становится наименее определенной и обычно многовариантной. Существует ряд приемов, которые можно разделить на две группы: геологические и формальные.

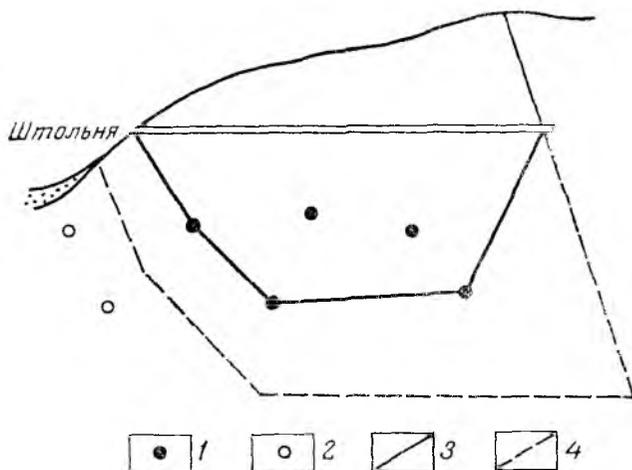


Рис. 49. Окоптуривание крутопадающего тела полезного ископаемого в проекции на вертикальную плоскость

1 — точки пересечения тела полезного ископаемого скважинами,
2 — скважины, не встретившие полезного ископаемого 3 — линия
внутреннего контура, 4 — линия внешнего контура

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;
- 4) проведение внешнего контура по естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого, чаще всего применяемое для линзообразных тел.

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);

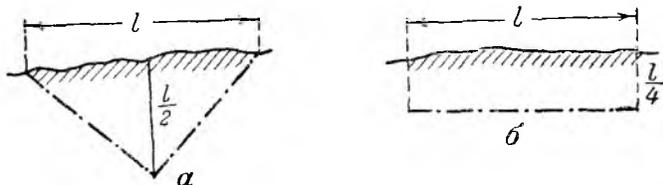


Рис. 50. Проведение внешнего контура в зависимости от длины тела по простиранию

a — по правилу треугольника, *б* — по прямоугольному полотну

2) проведение внешнего контура в зависимости от линейных размеров тела полезного ископаемого. В этом случае внешний контур образует треугольник, у которого высота принимается равной половине длины тела полезного ископаемого (рис. 50, *a*). Видоизменением этого приема является проведение внешнего контура по периметру

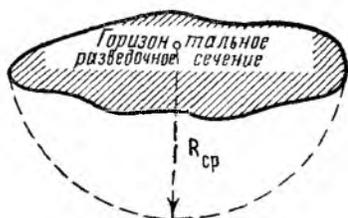


Рис. 51. Проведение внешнего контура по поверхности полушария

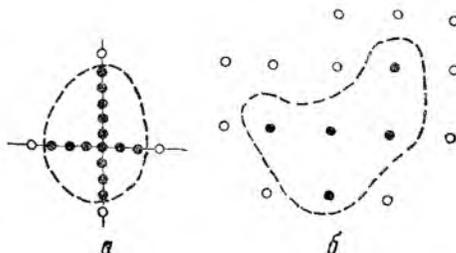


Рис. 52. Универсальные способы оконтуривания тел полезных ископаемых

a — оконтуривание «крестом», *б* — оконтуривание сетью разведочных выработок

прямоугольника с высотой, равной четверти длины тела полезного ископаемого (рис. 50, *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. Иногда на этом же основании строится полушарие; полученный таким способом контур больше соответствует фактическому (рис. 51).

Существуют три основных способа оконтуривания тела полезного ископаемого на поверхности (учитывая наличие рыхлого покрова):

1) проведение двух разведочных линий «крестом», т. е. под прямым углом друг к другу (рис. 52, а); 2) проведение редкой правильной сети разведочных выработок (рис. 52, б), наиболее распространенный и универсальный способ оконтуривания; 3) векторный способ, близкий к первому: проведение разведочных выработок по линиям — векторам, направленным от некоторой начальной

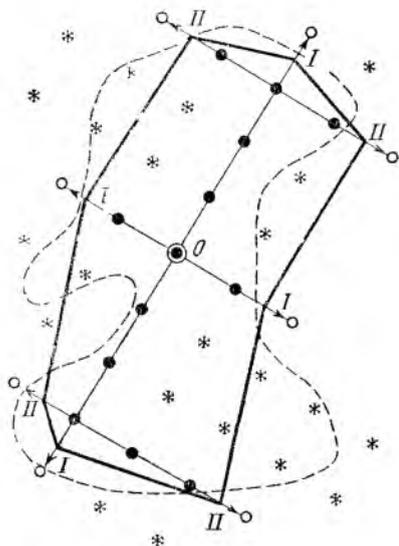


Рис. 53. Векторный способ оконтуривания тел полезных ископаемых (по Д. А. Зенкову, с видоизменениями)

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



точки (рис. 53). Последний способ предложен Д. А. Зенковым и К. Л. Семеновым.

Все эти работы нужно строить исходя из четвертого принципа разведки и учитывая, что всякие надуманные усложнения только мешают в производстве геологоразведочных исследований. Кроме того, необходимо помнить, что поверхностные выработки — самые дешевые, и экономия на этих выработках часто вызывает в дальнейшем большой перерасход средств на глубинных разведочных работах.

7. РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ

Серия разведочных выработок, по которым можно построить разрез, обычно располагается вдоль некоторой разведочной линии, образующейся в пересечении плоскости разреза с дневной поверхностью, в которой лежит тело полезного ископаемого. Разведочные линии почти всегда проходят вкост простирания продуктивных свит, рудных зон или отдельных крупных тел полезного ископаемого. При резком изменении простирания продуктивных толщ или зон ориентировка разведочных линий также соответственно

меняется. Таким образом, практически могут быть два вида взаиморасположения разведочных линий: параллельное и разноориентированное.

Разведочная сеть (рис. 54) чаще всего применяется для месторождений, не имеющих явно выраженного простирания и падения (горизонтально залегающие пласты и изометрические тела). Для всех других тел разведочные выработки располагаются по разведочным линиям, ориентированным вкрест простирания или вытянутости (горизонтальные трубы).

Квадратная сеть, позволяющая составлять две серии взаимно перпендикулярных разрезов (по сторонам и по диагоналям) и обладающая наибольшей равномерностью расположения выработок, весьма удобна, особенно в начальный период, для разведки пластовых

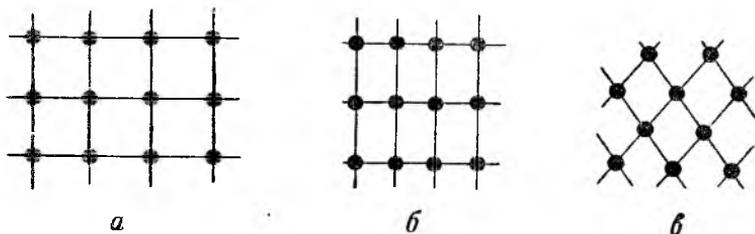


Рис. 54. Правильные разведочные сети

а — квадратная, б — прямоугольная, в — ромбическая

месторождений, близких к горизонтальным, и штокерков, особенно «изотропных».

Прямоугольную разведочную сеть с вытянутой ячейкой целесообразно применять для тел и месторождений полезных ископаемых, обладающих различной степенью изменчивости в двух главных направлениях. При этом длинная сторона прямоугольника должна быть ориентирована в направлении наименьшей изменчивости тела, а короткая — в направлении наибольшей. Условия применения ромбической сети — промежуточные между условиями для квадратной сети (при изотропности) и прямоугольной (при отчетливой анизотропности). Кроме того, ромбическая сеть по сравнению с квадратной более экономична, так как при одинаковых расстояниях между выработками требует меньшего их числа на единицу площади.

Нередко в процессе сгущения выработок одна сеть переходит в другую: квадратная в прямоугольную или ромбическую, прямоугольная в ромбическую. Ведущей, основной, нужно считать квадратную сеть.

Применение разведочных сеток с определенным расстоянием между выработками основано на многолетней практике и является

типичной разведкой «по аналогии». Вероятно, разведочные сетки будут применяться еще многие годы. Следует помнить, что для создания более точных разрезов необходимо, чтобы разведочные выработки располагались на линиях. Даже в будущем, с ростом учения о поисках и разведке и особенно разведочной геофизики, когда

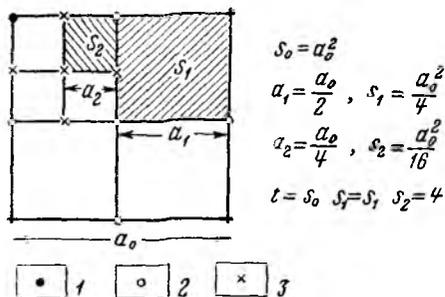


Рис. 55. Сгущение разведочной сети с уменьшением расстояния между выработками вдвое

1 — выработки первой очереди, 2 — выработки второй очереди, 3 — выработки третьей очереди

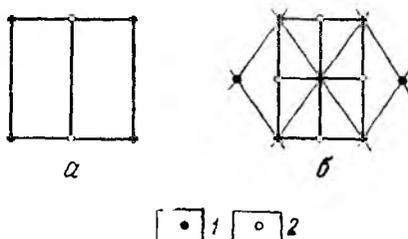


Рис. 57. Сгущение выработок с изменением вида сети

a — превращение квадратной сети в прямоугольную, б — превращение ромбической сети в прямоугольную; 1 — выработки первой очереди, 2 — выработки второй очереди

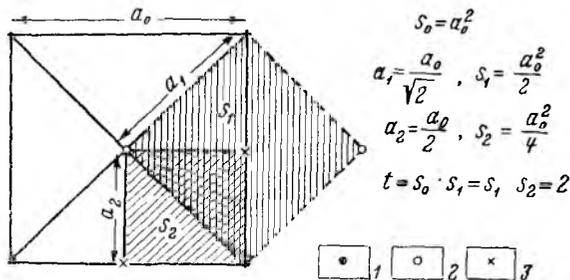


Рис. 56. Сгущение разведочной сети способом конверта

1 — выработки первой очереди, 2 — выработки второй очереди, 3 — выработка третьей очереди

глубокие разведочные выработки будут задаваться для проверки лишь в единичных пунктах, последние должны будут в совокупности составлять разведочную линию.

Одно из основных отличий предварительной разведки от детальной в методическом отношении состоит в различной плотности сети

разведочных выработок. В начальную стадию предварительной разведки выработки закладывают на больших расстояниях одна от другой, стремясь охватить по возможности все месторождение и оконтурить его хотя бы с небольшой степенью точности. Затем сеть выработок сгущают, иногда в несколько приемов, доводя до максимальной плотности в период эксплуатации месторождения, когда от разведки требуются наиболее точные данные. Это сгущение надо осуществлять руководствуясь знаниями, полученными при проходе первой сети выработок.

Каждая новая разведочная выработка закладывается с использованием данных всех предыдущих выработок, но из соображений выигрыша времени (четвертый принцип разведки) нужно параллельно проходить все выработки, заложение которых так или иначе неизбежно.

Сгущение разведочной сети обычно производится следующими способами:

- 1) уменьшением расстояния между выработками вдвое (рис. 55);
- 2) способом «конверта» (рис. 56);
- 3) путем перехода с одного вида сети на другой (рис. 57).

Интенсивность сгущения разведочной сети может быть различной в зависимости от вида сети и от способа сгущения. Сеть может быть уплотнена за один прием вдвое, втрое, вчетверо.

8. АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ СЕТИ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Под плотностью сети разведочных выработок S_0 понимается площадь тела полезного ископаемого, приходящаяся на одну разведочную выработку, пересекающую тело

$$S_0 = \frac{S}{n}, \quad (12)$$

где S — площадь тела полезного ископаемого, измеренная в горизонтальной, вертикальной или в какой-либо наклонной (для наклонных тел) плоскости;

n — число выработок, пересекающих тело полезного ископаемого по линиям, близким к наименьшему размеру тела (к мощности).

В практике плотность сети выражается как величиной площади S_0 , так и расстояниями между разведочными выработками.

Для разведки месторождений с различными геологическими особенностями требуются различные разведочные сети. Даже на отдельных участках одного и того же месторождения в зависимости от сложности его геологического строения сеть может быть более или менее различной.

Сложность тектоники месторождения вызывает всегда необходимость проходки дополнительных выработок или большее сгущение разведочной сети.

Основным фактором, определяющим необходимую плотность (густоту) сети разведочных выработок, является степень изменчивости свойств месторождения полезного ископаемого. Сгущение разведочной сети должно быть приурочено к участкам наибольшей изменчивости формы и качества тела полезного ископаемого. В начале работ при заложении разведочной сети пользуются методом аналогии, т. е. используют данные разведки месторождений подобного типа.

Данные документации разведочных выработок используются для получения правильных представлений о месторождении и, в частности, ложатся в основу подсчета запасов руд и металлов (минералов). Естественно, что появляются погрешности в полученных запасах, которые поэтому отличаются от запасов, извлекаемых в будущем из недр данного месторождения. В общем случае эти погрешности будут тем меньше, чем больше будет разведочных выработок, т. е. чем плотнее разведочная сеть. Во всех отраслях промышленности и в сельском хозяйстве известны различные погрешности, но в горной промышленности (в частности, в разведке) они обычно значительны. Так, в горном деле общая погрешность в 10% или даже 15% обычно считается небольшой: при многих системах эксплуатации одни потери руды нередко составляют 10–15%; в то же время суммарная погрешность накапливается не только за счет применяемой системы разработок. Иногда суммарная погрешность при эксплуатации составляет всего 4–5%.

Всегда имеет место разница (погрешность) между данными разведки и фактическими данными, полученными при эксплуатации. В советской и мировой литературе приводится ряд примеров в отношении цифровой величины этих погрешностей. Имеющиеся данные относятся главным образом к гидротермальным месторождениям типа: 1) штокервовых медных и молибденовых месторождений; 2) колчеданных медных и полиметаллических линз и 3) золото кварцевых жил.

Так, например, по нескольким меднопорфировым месторождениям в США (штаты Невада и Аризона) отклонения данных буровой (ударно-канатной) разведки от эксплуатационной выразились: по запасам руды от -14 до $+0,2\%$, по содержанию металла от -5 до $+12\%$.

На полиметаллических месторождениях установлены отклонения величин запасов меди, свинца и цинка, выявленных эксплуатацией, от значений, вычисленных по данным разведочного бурения в пределах от $+20$ до -34% . По золоторудным жильным месторождениям опубликовано сравнительно много данных по блокам (размером примерно 40×40 м) — колебания расхождений по запасам, подсчитанным по отдельным блокам по данным разведки и эксплуатации от $+200$ до -80% , среднее расхождение по блоку порядка $\pm 20\%$.

Очень характерно, что по сумме блоков (несколько десятков) отклонение не превышало $\pm 4-5\%$. Даже для четырех рядом расположенных блоков отклонение редко превышало $\pm 10-20\%$.

Разведчика всегда и в особенности на стадии детальной разведки интересует вопрос о необходимой плотности или густоте сети разведочных выработок, так как от этого прямо зависят размеры вложения средств, сроки разведки, необходимое количество рабочих, технического оборудования и т. п. Но заранее определить плотность разведочной сети довольно трудно, ибо степень изменчивости полезного ископаемого, от которой зависят размеры разведочной сети, неизвестна до начала разведки и лишь весьма приблизительно может быть оценена на основании поисково-разведочных работ, а также по методу аналогий, т. е. путем сопоставления с известным, ранее разведанным месторождением того же гитта. Впоследствии, в процессе разведки, когда удается частично или приблизительно выяснить характер и интенсивность изменчивости свойств полезного ископаемого, применяются три основных способа определения параметров сети разведочных выработок: 1) аналитический; 2) разрежения и 3) сравнения данных разведки с данными эксплуатации.

Аналитический способ использует математическое выражение степени изменчивости свойств полезного ископаемого — коэффициент вариации — для анализа вопроса о количестве выработок, достаточном для разведки данного объекта. Этот способ в лучшем случае может иметь контрольное значение.

Число необходимых измерений вытекает из формулы (8)

$$n = \left(\frac{tV}{p} \right)^2.$$

Если задаться определенной, допустимой в данных условиях величиной ошибки p (обычно принимают $t = 1$), то, так или иначе выяснив коэффициент вариации, характеризующий изменчивость свойств месторождения, можно вычислить количество выработок, необходимое для разведки этого месторождения. Однако в этой формуле не отражена площадь, что противоречит практике разведки.

Для определения плотности сети, зная n , можно использовать формулу (12). Подставив в эту формулу значение n , получим

$$S_0 = \frac{Sp^2}{V^2}, \quad (13)$$

где S_0 — площадь, приходящаяся на одну выработку;

S — площадь всего месторождения.

Вычисление необходимого количества разведочных выработок по этим формулам может дать лишь некоторый приближенный ориентир для проектирования плотности разведочной сети и должно корректироваться геологическими соображениями и данными опыта по другим аналогичным месторождениям.

Необходимое число разведочных выработок на единицу площади n_x (а следовательно, и искомая густота разведочной сети) может

быть определено по формуле (которая выводится из выражения коэффициента разведанности, предложенного В. Г. Соловьевым)

$$n_x = \frac{n_0^* V''}{V'}, \quad (14)$$

где V' и n_0^* — соответственно коэффициент вариации и число разведочных выработок на единицу площади для рационально разведанного месторождения, аналогичного разведываемому;

V'' — приближенное значение коэффициента вариации для вновь разведываемого месторождения.

Приближенное значение коэффициента вариации для разведываемого месторождения можно найти по редкой сети разведочных выработок, проведенных в поисково-разведочную стадию и в стадию предварительной разведки. Когда закладываются первые разведочные выработки, то в большинстве случаев нет необходимости определять плотность разведочной сети, целесообразную для детальной разведки. Если же такая необходимость возникает, например если требуется ориентировочно определить пункты будущей сети детальной разведки с тем, чтобы выработки предварительной разведки не очень отклонялись от этих пунктов (линий), то можно пользоваться величинами V , приведенными в табл. 25.

Эти величины можно использовать и для оценки V'' и как эталонные величины V' , если нет более точных данных по какому-либо хорошо изученному аналогу разведываемого объекта.

При сравнительных вычислениях всегда нужно помнить, что почти все значения коэффициента вариации и связанных с ним величин получаются более или менее завышенными ввиду локальной изменчивости свойств полезных ископаемых, в особенности мощности и в ряде случаев — содержания полезного компонента.

Если на месторождении выделяется несколько сортов полезного ископаемого, занимающих значительные обособленные площади, то вычисление коэффициента вариации и степени разведанности следует проводить для каждого сорта отдельно.

Аналитический способ определения необходимой густоты сети разведочных выработок в силу многих причин и прежде всего вследствие весьма большой приближенности исходных данных, используемых для вычисления, и несоответствия разведочных совокупностей стохастическим не может обеспечить решения задачи. Поэтому применять его без учета особенностей геологического строения месторождения и в отрыве от практического опыта разведки не рекомендуется.

Основные задачи предварительной разведки сводятся к получению средних характеристик месторождения или отдельных тел в первом приближении. Для этой цели можно использовать положения математической статистики о малых выборках, предполагая, что искомые характеристики существенно не отличаются от закона нормального распределения. Суждение о достоверности средних

характеристик можно получить, применяя распределение Стьюдента к выборкам в 10—30 наблюдений. Пройденные первые 20 разведочных скважин могут быть достаточны для решения некоторых основных задач предварительной разведки*.

Изложенное можно пояснить примером. Если на грубо изометричном венарушенном штокверковом месторождении при полноценных поисково-разведочных работах околонтурена более или менее равномерно оруденелая площадь в 1 км^2 и двумя-тремя скважинами намечена картина вторичной зональности и глубина распространения оруденения, то для предварительной разведки этой площади будет достаточно 20—25 скважин, пробуренных в данном случае по квадратной сетке с расстоянием между скважинами около 200 м.

С п о с о б р а з р е ж е н и я (для определения необходимой и достаточной плотности разведочной сети) состоит в сравнении результатов вычисления средних величин мощности, содержания полезных компонентов и запасов полезного ископаемого по сеткам различной густоты, особенно, если какие-либо данные можно принять за эталон. Обычно вначале подсчитываются запасы полезного ископаемого и отдельные параметры (мощность, содержание и пр.) по всем выработкам наиболее плотной сети. Далее вычисления производятся по половине выработок (через одну), затем по трети, по четверти выработок и т. д. При этом при одной и той же степени разрежения производится несколько вариантов подсчета с использованием различных разведочных выработок.

Результаты подсчетов сравниваются с величинами запасов (или содержания, или мощности), определенными по полному комплексу разведочных выработок, как с наиболее точными определениями. Таким образом определяется минимальная плотность разведочной сети по тому из вариантов подсчета, результаты которого не на много отличаются от данных, полученных при подсчете по наиболее густой сети разведочных выработок.

Таких сравнений проведено много. Например, на Боцкульском медном месторождении сравнивались результаты разведки при плотностях сеток $100 \times 50 \text{ м}$ и $200 \times 50 \text{ м}$. Расхождения составили: по запасам руды 4,1%, по запасам металла 5,1%, по величинам средних содержаний меди 1,3%. Следовательно, сетка $200 \times 50 \text{ м}$ может быть одобрена.

На Норильском медно-никелевом месторождении, по данным Г. Б. Роговера, разрежение сети $100 \times 100 \text{ м}$ до $200 \times 200 \text{ м}$ и даже до $200 \times 300 \text{ м}$ дает максимальные погрешности (отклонения) определения запасов всего в 13,8%.

Если при разрежении сети запасы получаются близкими (с определенной приемлемой погрешностью) таковым, подсчитанным по более плотной сетке, то естественнее принять минимальную

* Эту малую выборку — примерно в 20 наблюдений (лобых) — можно широко использовать в геологоразведочном деле как исходную ориентировочную цифру.

плотность — в этом весь смысл разрежения: найти минимальную, но еще приемлемую плотность разведочной сети. Разреженные сети производятся несколькими путями, с получением нескольких значений (например, запасов руд и металлов). Но чтобы использовать метод разрежения на разведываемых месторождениях, нужно слишком «щедро» разведывать эти месторождения, в противном случае не с чем будет сравнивать. Метод разрежения сам по себе лишен внешнего критерия: при использовании этого метода данные одной малой выборки сравниваются лишь с данными другой.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации является «внешним» и наиболее убедительным способом определения достоверности разведочных данных. Самостоятельно или обычно в сочетании со способом разрежения он позволяет более обоснованно решать вопрос о целесообразности густоте разведочной сети для месторождений того или иного типа. Этот способ широко используется на действующих горных предприятиях, особенно на крупных месторождениях и месторождениях, распространяющихся на значительную глубину. По мере отработки месторождения накапливаются данные, свидетельствующие о достаточности или недостаточности предшествующих разведочных исследований. Иногда на основании изучения верхних горизонтов после их отработки делаются ориентировочные выводы о плотности разведочной сети для нижних горизонтов. Конечно, эти данные широко используются для разведки аналогичных месторождений.

Главные трудности при сравнении данных разведки с данными эксплуатации относятся к сбору убедительных материалов, полученных в процессе эксплуатации месторождения. Затруднения часто возникают при анализе гидротермальных месторождений, когда нужно учитывать не только руду, но и металл (минерал), поступающий с нескольких тел, составляющих месторождение. Затруднения увеличиваются, когда собирать данные можно только с эксплуатируемых блоков, особенно в условиях сложных систем выработки. Когда добываемое полезное ископаемое используется непосредственно (уголь, стройматериалы и др.), то относительно легко использовать маркшейдерские подсчеты, замеры, особенно когда разрабатывается единое непрерывное тело. Но подсчитанные запасы именно таких месторождений (обычно это различные осадочные месторождения: марганцовые и железные руды, сера, фосфориты, уголь и т. д.) дают небольшое расхождение между данными разведки и эксплуатации и поэтому не вызывают каких-либо осложнений с их проектированием и добычей. Чаще всего большие погрешности связаны с разведкой и подсчетом запасов месторождений цветных, редких и благородных металлов, а также некоторых неметаллов (магматогенного происхождения).

Иными словами, при эксплуатации часто происходит смешение руд различных участков и тел, не говоря уже об отдельных блоках месторождения. Поэтому в этих случаях возможно сравнивать только общие показатели по всему отработанному месторождению

или телу, такие, как мощность, среднее содержание, запасы. Чаще же всего приходится опираться на эксплуатационные замеры мощности и особенно на данные опробования. Во всех случаях сравнения данных разведки и эксплуатации какие-то блоки, или горизонты, или рудные тела, столбы и т. д. принимаются за эталон, с которым и сравниваются данные разведки. Этот эталон (или эталоны), принимаемый за исходную величину (обычно за 100%), и нужно «найти» на действующих рудниках.

В мировой литературе обычно принято учитывать четыре морфологических типа гидротермальных рудных тел: 1) штокверки (изометричные и вытянутые); 2) «согласные» тела (т. е. пластообразные залежи и линзы, согласно залегающие с вмещающими породами); 3) жилы (всевозможного типа) и 4) трубы, к которым часто относят также карманы, гнезда и другие мелкие сложные тела.

По первым трем типам накопился некоторый опыт в отношении сравнения данных разведки и эксплуатации.

Штокверковые месторождения часто дают хорошие природные эталоны. Обычно эти месторождения вырабатываются открытыми работами с высотой уступов карьера 10—15 м. Если взять данные опробования такого слоя мощностью 10—15 м (желательно в контуре одного природного сорта руд, например халькозиновых или первичных) в пределах всего месторождения, то можно иметь хорошую природную модель — «пластину» толщиной 10 или 15 м, на которой нанесено огромное количество опробованных взрывных ударно-канатных скважин, отстоящих друг от друга на 3—7 м. По этим скважинам легко вычислить среднее содержание и запас металла (металлов) по всей пластине или в отдельных ее частях. Среднее содержание (или запас) металла в пластине можно без большой погрешности принять за истинное (эталон). На чертеже такой пластины можно производить любые экспериментальные разведочные операции (разрежение, выделение разных сортов руд и т. д.). Разведочную сеть, нанесенную на восковке, можно не только накладывать, но и передвигать в любом направлении, получая для каждой сети (200 × 200; 100 × 100; 50 × 50; 25 × 25 м) несколько значений, так как в узлах (или около них) разведочной сети всегда можно использовать данные опробования ближайшей эксплуатационной скважины.

Таким путем для каждой плотности разведочной сети можно получить большое (достаточное для обоснованных выводов) количество данных по среднему содержанию, запасам руд и металлов для объемов, заключенных в пределах проведенного для каждого эксперимента промышленного контура по скважинам неоднократно положенной «разведочной сети». Эти данные сравниваются с эталоном, и вычисляется соответствующая погрешность их определения.

Цифры допустимой погрешности определения запасов различных категорий официально не апробированы и не являются общепринятыми, но отдельные авторы ориентировочно приводят допустимую

погрешность для категории В порядка 20—30%, а категории А — 15—20%.

Сравнение данных разведки и эксплуатации двух штокверков — Коурадского медного и Первомайского молибденового показало, что для получения одних и тех же по достоверности результатов на первом нужна разведочная сеть скважин 200×200 м, а на втором 50×50 м. Таким образом, для этих двух месторождений необходимое (и достаточное) расстояние между разведочными выработками отличается в 4 раза, а площади, приходящиеся на одну скважину, — в 16 раз.

Количество выработок, необходимое для разведки этих месторождений, определенное по формуле (8), при $t = 1$ и $p = \pm 10\%$ получилось примерно то же (несколько увеличенное), что и по данным экспериментов, т. е. формула математической статистики в данном случае дает правильные ориентировочные данные. Экспериментальные данные также показали, что на промышленных площадях названных месторождений с точки зрения обеспечения необходимой достоверности подсчета запасов по категории В нужно пройти примерно 15, а для категории А около 50 разведочных скважин. Конечно, для уточнения структуры и внутреннего строения месторождения количество выработок должно быть увеличено. По данным рассматриваемых экспериментов было установлено, что даже для ориентировочного оконтуривания отдельных промышленных *с о р т о в* руд на этих месторождениях необходимы разведочные сетки порядка 12×12 или 10×10 м, что практически для стадии детальной разведки явно неприемлемо. Совершенно ясно, что выделение сортов руд нужно перенести на стадию эксплуатационной разведки, тогда это делается проще и дешевле.

Второй морфологический тип («согласных» тел) также подвергался аналогичным исследованиям на примере медноколчеданных рудных тел Урала и полиметаллических месторождений Алтая и Средней Азии.

В частности, на алтайских месторождениях, по данным А. И. Гольдфельда, было установлено, что запасы отдельного месторождения в целом с погрешностью 25—35% могут быть определены по редкой сети буровых скважин. Однако контуры рудных тел, намеченные по данным бурения с поверхности, нередко отклоняются до 15 м от установленных при эксплуатации. Среднее содержание металлов и даже средняя мощность рудных тел, по данным эксплуатации, иногда изменяются на коротком расстоянии в 3—7 раз. Детальную разведку таких месторождений целесообразно производить в основном горными выработками, которые следует увязывать с эксплуатационными работами.

Сравнение данных буровых работ по свинцово-цинковому месторождению Текели с данными эксплуатации (по Х. И. Мурсалимову) показало возможность замены буровой разведочной сети 60×50 м сетью 120×50 м, так как по этим сетям получаются очень небольшие расхождения по запасам руд и металлов.

Наконец, третий — жильный — морфологический тип детально проверен на месторождениях Восточного Забайкалья группой геологов под руководством В. Д. Семенюка, где сравнивались данные разведки и эксплуатации маломощных кварцевых жил молибдена, польфрама, олова и золота. Все эти месторождения по своей изменчивости (особенно по качеству) относятся к трем последним группам (см. табл. 25) по неравномерности распределения оруденения. На этих месторождениях для сравнения данных разведки и эксплуатации эталонами и служили блоки, нарезанные подготовительными выработками. На основании данных опробования штреков и восстающих по каждому блоку производился подсчет запасов. В процессе эксплуатации опробование блоков производилось в основном по сетям 3×3 м и 5×5 м. Запасы металла в блоках, подсчитанные по данным эксплуатационного опробования, принимались за эталон (справедливый на 100%). Указанные исследователи сопоставили сотни блоков размером преимущественно 50×45 м и 60×45 м. Категории запасов зависели от очертывания блока: при наличии штреков и восстающих — категория А. только штреков — В и, наконец, совокупность канав и штреков с одной стороны блока — С₁. Было установлено, что погрешности определения запасов в блоках, опробованных с четырех, трех и даже с двух сторон, близки и увеличиваются весьма постепенно по мере увеличения изменчивости месторождений.

В общем виде можно считать, что при рациональной разведке рудных тел или блоков количество выработок и проб должно отвечать фактически достижимой точности, которая весьма ограничена, так как фактические погрешности очень превышают те погрешности, которые обычно приписываются разным категориям запасов. Чрезмерное увеличение количества выработок или проб ведет к неоправданным затратам, а большая точность все равно недостижима.

Интересно отметить, что многократное увеличение плотности сети опробования и затрат для перевода запасов категории С₁ в категорию А снижает вероятную погрешность определения запасов только на 10—30% (не больше 40%). Погрешность определения запасов в блоках категории С₁ отличается от запасов категории В и А на 20—30%, т. е. получается, что категории В и А практически имеют одну и ту же достоверность (т. е. запасы блоков, опробованных с четырех, трех и двух сторон по достоверности практически равноценны).

Все изложенное подтверждает, что проблема плотности разведочной сети была и остается важнейшей в учении о поисках и разведке полезных ископаемых. Она играет основную роль как в самой разведке, так и в подсчете запасов и, как можно видеть, до сих пор не решена.

В данный момент ясно, что пока для схематического решения этой проблемы нужно идти по пути сравнения данных разведки и эксплуатации. До сих пор сопоставлялись в основном количества металлов в блоках, установленные путем разведочного и эксплуатационного

о п р о б о в а н и я. В дальнейшем необходимо поставить опыты по сопоставлению данных разведочного опробования с количеством ф а к т и ч е с к и д о б ы т о й руды и металла, опираясь на экспериментальные блоки* или иные приемы учета руды (и металла).

Необходимо сформулировать требования, которые предъявляет промышленность (проектные организации) к данным разведки, т. е. установить, какие пределы точности требуются для определения залегания, формы, прерывистости рудных тел и т. д.

Для определения пределов точности исследований на основании требований промышленности нужна дальнейшая детальная разработка проблемы промышленных типов месторождений.

Таким образом, работа должна идти по двум основным направлениям:

1) установление промышленных типов и подтипов месторождений и их надлежащая характеристика;

2) сравнение данных разведки и эксплуатации.

Эти направления исследований не теряют своего значения и при поисках математического решения вопроса о плотности разведочной сети и выяснении численного выражения достоверности различных категорий запасов, при этом математически обрабатывать нужно геологически хорошо изученную «продукцию».

9. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С конца XIX в. в горные предприятия вводятся большие капиталовложения, и с этого времени начинаются крупные разведочные работы с целью выявления таких запасов полезных ископаемых в недрах, которые могли бы обеспечить амортизацию капиталовложений с получением определенной прибыли. Но с давних пор доказано, что достоверность запасов, установленных и подсчитанных в недрах, совершенно различна. Стремление выявить этот экономически очень важный факт проявилось в создании классификаций запасов. Первая классификация (Аргалл) появилась в США в 1902 г., но наиболее популярной не только в США, но и в других странах была классификация Гувера (1909 г.), делившая все запасы в недрах на три категории: I — proved (доказанные), II — probable (вероятные) и III — prospective (предполагаемые). Эта классификация в Англии и странах британского содружества вновь была принята в 1946 г.

После дискуссии в 1943 г. в США ввели другую классификацию: 1) measured (измеренные), 2) indicated (выведенные) и 3) inferred (предполагаемые). При этом для «измеренных» запасов предлагается погрешность не более $\pm 20\%$.

Плановое хозяйство СССР предъявляет особые требования к классификации запасов твердых полезных ископаемых. Первая советская

* Блоки, находящиеся под особым наблюдением со строгим учетом добытой из них руды.

классификация появилась в 1927 г., в ней категории (те же три) были выражены символами А, В и С. Причем в характеристике категорий появился новый важнейший элемент — определение народнохозяйственного назначения тех или иных категорий запасов. Затем, параллельно росту народного хозяйства и изменениям в нем утверждались и новые классификации запасов в 1932, 1941, 1953 гг. и, наконец, ныне действующая классификация утверждена в 1960 г. Классификация запасов в СССР имеет силу закона и опубликована во всех инструкциях ГКЗ СССР (Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых СССР).

Запасы категории А предназначаются для производственного планирования и проектирования добычи; категории В — для обоснования капиталовложений в строительство горных предприятий и для составления технического проекта разработки месторождения; категории С₁ (С делится на С₁ и С₂) — для обоснования перспективных планов промышленности и для проектирования детальной разведки, и категории С₂ — для обоснования дальнейших геологоразведочных работ.

Схема категоризации запасов на примере крутопадающей жилы приведена на рис. 58.

Классификации запасов 1953 и 1960 гг. предусматривают необходимость выявления для различных групп месторождений определенного соотношения категорий А, В и С₁ перед проектированием горных предприятий и выделением капиталовложений на их строительство.

Классификация запасов полезных ископаемых, так же как и стадии разведочного процесса, предопределяющие отнесение подсчитываемых запасов к той или иной категории, вытекает из принципа последовательных приближений в изучении месторождения.

Сущность классификации запасов составляет разделение запасов полезных ископаемых по степени их достоверности, а промышленное назначение различных категорий запасов подчеркивает их различное народнохозяйственное значение.

На разных месторождениях при одинаковой плотности разведочной сети могут быть получены различные по достоверности данные; соответственно и категории запасов будут различны. На одном и том же месторождении и даже в пределах одного тела полезного

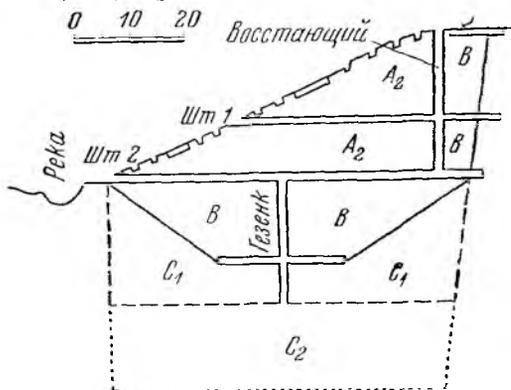


Рис. 58. Схема категоризации запасов крутопадающей рудной жилы (продольная проекция на вертикальную плоскость)

ископаемого на различных участках, разведанных с разной детальностью, запасы также будут принадлежать к различным категориям.

Для отнесения запасов к определенной категории надо учитывать три главных показателя:

- 1) степень достоверности подсчитанных запасов;
- 2) степень изученности технологических свойств полезного ископаемого;
- 3) степень изученности горнотехнических условий будущей эксплуатации и прежде всего гидрогеологических особенностей месторождения.

Основные положения (принципы), на которых базируется классификация запасов полезных ископаемых, состоят в следующем.

1. Классификация запасов полезных ископаемых является геологической и устанавливает пригодность запасов различной степени изученности и разведанности для народного хозяйства в соответствии с требованиями промышленности, их назначение и единые принципы учета в недрах.

2. В основе классификации должна лежать достоверность выявленных запасов полезного ископаемого, определяемая степенью разведанности и общей изученности месторождения.

3. Изученность и разведанность запасов характеризуется полнотой и надежностью определения основных параметров, к которым относятся:

а) величина запасов полезного ископаемого, его основных и сопутствующих компонентов;

б) форма и геологические условия залегания тел полезного ископаемого, а также условия залегания вмещающих горных пород;

в) природные типы и промышленные сорта полезного ископаемого, их качество и пространственное распределение;

г) свойства полезного ископаемого и вмещающих горных пород, определяющие горнотехнические условия эксплуатации;

д) гидрогеологические условия месторождения;

е) технологические свойства полезного ископаемого;

ж) экономические условия района месторождения.

4. Запасы полезного ископаемого учитываются в недрах в контурах, установленных на основании разведочных выработок, геофизических измерений и общих геологических данных, без вычета возможных потерь при добыче и переработке.

5. Качество полезного ископаемого определяется комплексно по всей сумме полезных компонентов без учета возможного разубоживания или иного изменения при добыче.

6. Геологическая классификация запасов полезных ископаемых способствует решению следующих задач:

а) установлению единого порядка подсчета, утверждения и учета запасов, а также усовершенствованию разведки месторождений полезных ископаемых;

б) установлению порядка передачи разведанных месторождений для промышленного использования с учетом необходимых соотношений различных категорий запасов;

в) промышленной оценке месторождений полезных ископаемых;

г) обоснованию текущего и перспективного планирования и финансирования геологоразведочных работ, промышленности и народного хозяйства в целом.

7. Классификация запасов применяется к отдельным видам полезных ископаемых в соответствии со специальными инструкциями и методическими руководствами.

Поскольку основа классификации — достоверность, то было бы очень важно устанавливать численную величину допустимой погрешности для каждой категории запасов. Однако до сих пор математического решения этого вопроса еще не найдено.

В основу разработки методики численного выражения достоверности запасов может быть положена идея пределов, которые могут определяться в процессе подсчета запасов объекта по нескольким вариантам. Широкие пределы колебаний величины подсчитываемых запасов будут свидетельствовать о малой достоверности подсчета. Чем уже окажутся эти пределы, тем достовернее величины подсчитанных запасов.

Пусть, например, максимальный размер запасов руды на участке по одному варианту подсчета оценен в 80 тыс. *т*, минимальный по другому — в 60 тыс. *т*. Относительная разность пределов составляет

$$\frac{20 \cdot 100}{80} = 25\%.$$

Эта разность пределов может характеризовать степень достоверности определения запасов руды на рассматриваемом участке.

Исходя из опыта разведочных работ, на основании сравнения данных разведки с результатами проектирования и эксплуатации, можно приблизительно наметить величины допустимой погрешности определения запасов для различных категорий. Сугубо ориентировочно их можно предложить в следующих размерах:

для категории А	15—20%		
»	»	В	20—30%
»	»	С ₁	30—60%
»	»	С ₂	60—90%

Следует иметь в виду, что при определении достоверности запасов нельзя пользоваться только одними «голыми» цифрами допустимых погрешностей, так как не менее важно, чтобы запасы руды были именно там, где они намечены по геологическим документам (планам, разрезам и т. д.). Если рудные тела против ожидания (зафиксированного в подсчете) прерывисты или разобщены нарушениями (сбросами, сдвигами и др.), то достоверность заключенных в них запасов будет, безусловно, и в ж е, чем следует из цифр допустимых пределов погрешностей для различных категорий.

Запасы категорий А, В и С₁ в практике геологоразведочных работ называются промышленными, запасы категории С₂ — геологическими. Эти названия отражают прежде всего назначение запасов соответствующих категорий. На базе промышленных запасов производится вложение средств в проектирование и строительство горных предприятий. На основе запасов категории С₂ можно лишь решить вопрос о целесообразности дальнейших геологоразведочных работ и определить размер необходимых ассигнований на эти работы.

Классификация запасов нефти и газа базируется на несколько иных принципах по сравнению с классификацией запасов твердых полезных ископаемых. Основные отличительные особенности этой классификации состоят в следующем.

1. Классификация запасов нефти и газа тесно увязывается со стадиями промышленного освоения месторождения, что несколько нарушает общий принцип классификаций запасов — группировку по степени достоверности. Поэтому бывают случаи, когда запасы нефти, отнесенные к высоким категориям на основании включения разведочного участка в сферу эксплуатации, оказываются недостоверными (скважины не фонтанируют). Однако такие случаи нечасты, обычно каждой стадии промышленного освоения месторождения соответствует определенная степень достоверности установленных на данной стадии запасов: А — запасы, которые могут быть получены на участке действующих или новых скважин в пределах эксплуатационного контура; В — запасы на площади, вскрытой скважинами, но полностью не исследованной и не оконтуренной; С₁ и С₂ — запасы, предполагаемые на новых площадях, еще не затронутых бурением.

2. По классификации запасов нефти и газа учету подвергаются лишь те запасы, которые могут быть извлечены из недр на современном уровне развития техники. Поэтому в отличие от месторождений твердых полезных ископаемых запасы нефти и газа в недрах подсчитываются с применением коэффициента использования (т. е. неполно).

10. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

Решающими факторами при выборе системы разведочных работ и установлении необходимой густоты разведочной сети являются размеры тела полезного ископаемого и степень изменчивости его основных свойств (качества и формы).

Применение технически рациональной и экономичной системы разведочных работ с учетом генетического типа и морфологической группы месторождений является важнейшей проблемой методики разведки. Но она настолько же сложна насколько важна. Здесь нельзя действовать по шаблону, так как разнообразие природных скоплений полезных ископаемых, именуемых месторождениями, огромно, и к тому же заранее не бывают известны ни форма, ни качество, ни условия залегания месторождения, подлежащего разведке.

Необходимость как-то сгруппировать природное многообразие месторождений полезных ископаемых с позиций легкости (или труд-

ности) их выявления в процессе разведки и руководила Лафлином, памятившим в 1939 г. контуры такой группировки. Он предлагает подразделять месторождения всех видов на три группы: 1) *plenimensurate* (полностью измеримые), 2) *partimensurate* (частично измеримые), 3) *extramensurate* (измеримые в особых случаях).

В первую группу входят месторождения, которые могут быть разведаны сравнительно легко и полностью (пласты в мульдах, локальные участки коры выветривания, россыпи и т. п.). Ко второй группе относятся, например, месторождения, нижняя часть которых уходит на большие, технически недоступные в данное время глубины (железистые кварциты, пласты углей и других полезных ископаемых, протяженные трубы и жилы и т. п.). Третью группу составляют многочисленные, обычно мелкие, разнообразные по форме и качеству месторождения, разведка которых до эксплуатации сопряжена с большим риском.

Еще раньше (в 1937 г.) нами была предложена более детальная классификация месторождений твердых полезных ископаемых по сложности их разведки с учетом общности для каждой группы методики и основных технических средств разведки, а также условий отнесения запасов полезного ископаемого к определенным категориям. Эта классификация, послужившая в свое время исходной для ВКЗ и работ отдельных геологов, в несколько отредактированном виде выглядит так.

Группа а. Месторождения простой формы с равномерным распределением полезных компонентов. К ним принадлежат главным образом месторождения осадочного генезиса (угли, некоторые строительные и огнеупорные материалы, осадочные железные руды), некоторые простые месторождения коры выветривания (бокситы), а из магматогенных месторождений — главным образом некоторые крупные мало изменчивые железорудные или титановые месторождения.

Эта группа месторождений может быть разведана до категории А при помощи одних буровых работ при значительных расстояниях между скважинами. Применение горных работ ограничивается единичными выработками для контроля бурения и иногда для взятия технологических проб.

Группа б. Месторождения большого масштаба различной, иногда сложной формы (в том числе крупные метасоматические залежи), с неравномерным распределением компонентов. К этой группе принадлежат многие штоковерковые месторождения цветных и редких металлов, некоторые месторождения черных металлов, серного колчедана, сравнительно равномерные месторождения редких металлов (в стратифицированных интрузивах), многие выдержанные россыпи золота, платины, олова и редких металлов. Сюда же относятся сильно дислоцированные и метаморфизованные месторождения угля и месторождения мрамора.

На месторождениях этой группы при нормальном расстоянии между выработками запасы категории А могут быть получены

только разведкой горными выработками. Бурение служит для выяснения запасов категорий В и С₁.

Группа в. Месторождения средней величины и разнообразной формы с неравномерным, а иногда с весьма неравномерным распределением полезных компонентов. Наряду с часто встречающимися жильобразными телами наблюдаются неправильные залежи. К этой группе принадлежит большинство жильных месторождений золота, олова, редких металлов, ртути, сурьмы, вольфрама, молибдена, а частично и полиметаллов, а также неправильные залежи полиметаллов и россыпи с неравномерным содержанием полезных компонентов и неровным плотиком.

Большая неравномерность оруденения или сочетание сложной формы с неравномерностью распределения компонентов делают разведку такого рода месторождений довольно трудной и дорогой. Горными работами здесь выявляются главным образом запасы категории В по отдельным блокам, но по сумме многих блоков запасы могут быть отнесены к категории А. Роль буровых работ в основном сводится к выяснению запасов категории С₁.

Группа г. Сюда относятся месторождения, по морфологическим чертам сходные с месторождениями группы в. Практически важное отличие их заключено в крайней неравномерности распределения компонентов и малом масштабе отдельных рудных тел. Обычно это небольшие жилы, иногда сильно тектонически нарушенные, малые метасоматические тела, в том числе трубообразные и пр. К этой группе относятся некоторые жилы бериллоносных и оловоносных пегматитов, многие небольшие жилы и неправильные тела руд редких и благородных металлов, а также сурьмы и ртути. Сюда же относятся некоторые небольшие сложные россыпи.

В этой группе месторождений горными работами в общем случае выявляются только запасы категории В по сумме блоков и категории С₁ по отдельным блокам. Буровые работы применяются редко и только для определения общих перспектив месторождения, т. е. запасов категории С₂. Изредка они в сочетании с проходкой горных выработок способствуют выявлению запасов категории С₁. Горные работы, помимо разведки, всегда преследуют цель подготовки рудных блоков к эксплуатации, т. е. разведка сливается с эксплуатацией.

Группа д. Месторождения, представленные очень малыми гнездами и мелкими трубообразными телами. Таковы платиноносные гнезда и трубки хромитов в дунитах, некоторые месторождения изумрудов и вообще самоцветов в пегматитах, мелкие шеелитоносные и молибденоносные гнезда в скарных зонах, занорыши и погребя оптического кварца, кальцита, флюорита. Количество подобных месторождений, вовлекаемых в эксплуатацию в связи с ростом новой техники, также увеличивается.

Месторождения этой группы необычайно сложны для разведки и промышленного освоения. Систематическая разведка запасов до категории В не проводится. Только небольшая часть запасов

месторождений иногда относится к категории C_1 , а большая их часть — к категории C_2 . Эти месторождения разведываются одновременно с эксплуатацией.

11. СТЕПЕНЬ РАЗВЕДАННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обычно разведка месторождения производится с различной степенью детальности в различных его частях, и даже к моменту окончания детальной разведки на месторождении, особенно на крупном, какая-то часть запасов на флангах или на глубине остается разведанной с невысокой степенью достоверности — по категориям C_1 и C_2 .

Месторождения простые по форме и распределению полезных компонентов в результате детальной разведки имеют обычно небольшие запасы категорий C_1 и C_2 . Очень сложные месторождения, наоборот, разведываются преимущественно по низким категориям и обладают небольшими запасами высоких категорий (А и В). Некоторые особо сложные месторождения вообще не могут быть разведаны до начала эксплуатации по высоким категориям. Поэтому передача месторождения в эксплуатацию осуществляется в большинстве случаев при различной степени изученности (разведанности) и достоверности выявленных запасов. В силу этого обстоятельства для различных типов месторождений устанавливаются различные рациональные соотношения промышленных категорий запасов А, В и C_1 , необходимые для уверенного проектирования и строительства горных предприятий.

В последней классификации запасов* в специальном разделе регламентировано соотношение запасов категорий А, В и C_1 для различных групп месторождений.

Методика определения этого соотношения нуждается еще в разработке. Однако несомненно, что в основе ее должны лежать, с одной стороны, требования проектирующих организаций и, с другой — соображения наиболее экономичного ведения детальной разведки.

В процессе разведки всегда необходимо учитывать эффективность затрат на детальную разведку, предшествующую эксплуатации. Такой учет предложен в 1957 г. В. Я. Каудельным и проиллюстрирован им на примере Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса, т. е. он приводит частный и при том достаточно простой случай.

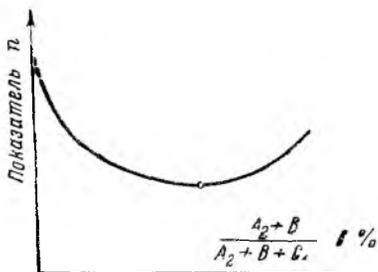


Рис. 59. Соотношение метража разведочных выработок, затраченного на разведку 1000 т запасов полезного ископаемого по высоким категориям (показатель n), и степени разведанности участка

* Утверждена 5 сентября 1960 г. председателем ГКЗ П. Н. Малышевым.

Сопоставляя эффект разведки и затраты на разведку разных шахтных полей с помощью показателя n , выражающего отношение метража разведочного бурения, затраченного на 1000 t запасов угля категорий $A_2 + B$, В. Я. Каудельный установил следующее*.

1. По мере развития разведочных работ увеличение метража бурения ведет к более или менее быстрому росту запасов категории

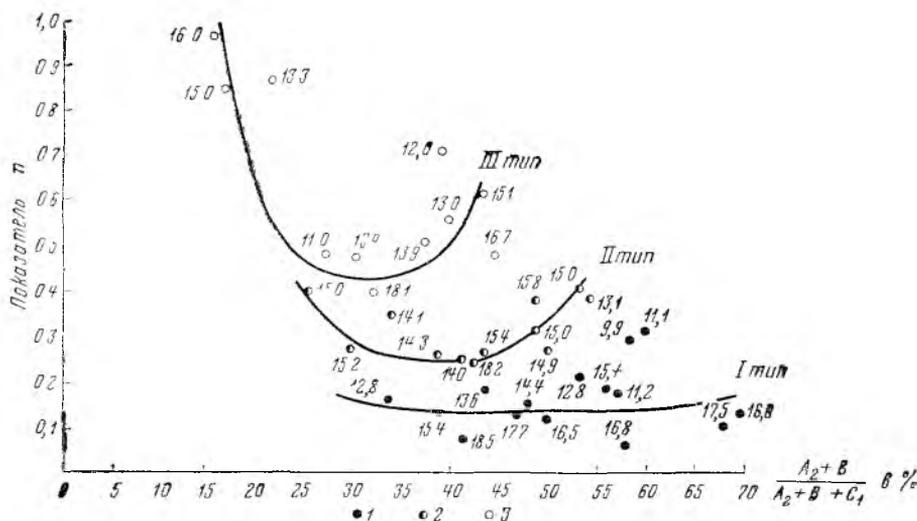


Рис. 60. Кривые соотношения разведанности и метража буровых скважин по Прокопьевско-Киселевскому району Кузбасса (по В. Я. Каудельному)

1 — данные по участкам простого геологического строения, 2 — данные по участкам сложного геологического строения, 3 — данные по участкам очень сложного геологического строения. Цифры около точек показывают рабочую угленосность толщи

$A_2 + B$, в связи с чем показатель n уменьшается, достигая минимального значения в некоторой точке (рис. 59).

2. В заключительном этапе детальной разведки относительный прирост метража скважин оказывается больше прироста запасов категорий $A_2 + B$ и поэтому показатель n снова возрастает.

3. Для различных типов шахтных полей (рис. 60) наиболее дешевый прирост запасов категорий $A_2 + B$, соответствующий наименьшему значению показателя n , наблюдается при отношении $\frac{A_2+B}{A_2+B+C_1}$, равном 50—56% в случае простого строения участков (I тип шахтных полей), 35—40% при сложном их строении (II тип) и 30—35% при очень сложном (III тип).

* Определение категорий В. Я. Каудельным производилось по классификации запасов 1953 г.

С точки зрения экономичности разведочных работ, целесообразно раничиваться, по-видимому, соотношением $\frac{A+B}{A+B+C_1}$, соответствующим минимальному значению показателя n .

Соотношение между стадиями разведки и получаемыми в результате категориями запасов в общем случае выглядит так.

Стадии работ	Категории запасов
Поисково-разведочная	Категория C_2
Предварительной разведки	Категории $C_1 + C_2$ (иногда немного запасов категории В)
Детальной разведки	Категории $A + B$ (некоторая часть запасов обычно остается разведанной по категориям $C_1 + C_2$)
Эксплуатационной разведки	Категория А и иногда частично категория В.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАЗВЕДОЧНЫХ СРЕДСТВ

Все средства разведки полезных ископаемых, имеющиеся в арсенале современного геолога-разведчика, можно разделить на три различных по методическим основам и оснащению вида: а) горные разведочные выработки, б) буровые разведочные скважины и в) геофизические работы. Различия между ними с разведочной точки зрения заключаются в следующем.

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.

Фактический материал, получаемый 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.

Геофизические работы сами по себе 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, 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 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, а последние в свою очередь восполняют или корректируют неполные или ошибочные данные разведочного бурения.

Горные разведочные выработки

Для разведочных целей используются почти все виды горных выработок: расчистки, каналы, 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 и подземные, требующие большой затраты сил и материальных средств.

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 и 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. 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 ошибки) и необходимое оснащение. При выборе расстояний между разведочными горизонтами или расстояний между разведочными штольнями и штреками по вертикали следует руководствоваться данными о нормальной высоте эксплуатационного этажа в этих условиях. Проходку вертикальной шахты предпочтительно осуществлять в лежачем боку крутопадающей залежи, так как в противном случае часть полезного ископаемого висячем боку попадает в охранный целик и может быть потеряна (рис. 61, а). Наиболее рациональным видом разведочного вскрытия крутопадающего месторождения при спокойном рельефе поверхности надо считать шахту с квершлагом (рис. 61, б).

Главной технической проблемой проходки разведочных горных выработок является непрерывное совершенствование и внедрение новых видов механизации этого весьма трудоемкого процесса. Механизация проходки горноразведочных 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.).

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 значительны — хотя бы по меньшей мере месячной проектной производительности машин. В противном случае доставка, уход и ремонт машин потребуют больших затрат, чем проходка канав без их применения.



Рис. 61. Соотношения контуров рудных тел и околошахтных охранных целиков ($70^\circ < \alpha < 80^\circ$)

а — при заложении шахты висячем боку рудного тела, б — при заложении шахты в лежачем боку. Пунктиром показаны границы охранных целиков

Для механизации проходки шурфов можно использовать бурильные машины большого диаметра, применяемые в различных отраслях строительства. Мелкие шурфы могут быть очень быстро пройдены с помощью специальных машин.

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 горногеологические 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.

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 мобиль-

ности, скорости работ, относительной легкости оборудования и меньшим расходом 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. 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 или скалыванию горной породы в скважине. В соответствии с этими двумя принципами различаются следующие 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, выбуривающие в скважине кольцо, внутри которого сохраняется столбик горной породы — керн (кольцевой набой) — колонковое бурение; 2) наконечники, разрушающие всю горную породу в скважине (сплошной забой) — ударно-канатное, роторное, турбинное бурение.

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 практически до любых глубин. Эти преимущества делают колонковое бурение незаменимым во многих случаях разведочной практики.

При выборе бурового агрегата надо исходить главным образом из проектируемой глубины разведочных скважин. Эффективность применения колонкового бурения при прочих равных условиях прямо пропорциональна выходу керна.

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 снизу 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 в отдельных случаях заключаются в возможности более надежного, чем при колонковом бурении, опробования. больших скоростях проходки скважин, особенно при глубинах до 150 м, а также 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 при разведках крупных штокверков, массивов, некоторых полого залегающих мощных залежей и россыпей.

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 скважины.

Диаметры скважин при ударно-канатном бурении колеблются от 100 до 600 мм. Глубина скважин не превышает 1000 м. Наиболее эффективна работа ударно-канатных станков при глубине до 150 м; глубже производительность бурения значительно снижается и работы удорожаются.

Роторное и турбинное бурение широко применяется при разведке нефтяных и газовых месторождений.

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 ударно-вращательного бурения*. Данный вид бурения, осуществляемый с помощью простейших комплектов бурового инструмента, применим обычно в рыхлых породах при глубине скважин преимущественно 10—15 м (не более 30 м). Скважина в зависимости от изменчивости геологического разреза иногда проходится то долотом, то змеевиком (шнеком).

Одной из проблем буровой техники является механизация ударно-вращательного бурения. В качестве приспособлений для механизации этого вида бурения могут служить вибромашины, 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/мин.

С целью механизации ударно-вращательного бурения применяется также шнек с приводом от автомашины (шнековое бурение).

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 разведочных скважин в процессе бурения, необходимое для их безаварийной проходки. С этой целью осуществляется обсадка скважин трубами, глинизация и цементация скважин.

* Это бурение обычно называлось ручным. Теперь идет быстрая механизация этого вида бурения, и его лучше именовать ударно-вращательным. Глубина скважин по-прежнему мала.

3. Выяснение характера кривизны буровых скважин, особенно необходимое при больших глубинах, и управление искривлением скважин.

4. Повышение темпов проходки буровых скважин и производительности буровых агрегатов.

Основные положения, которые нужно иметь в виду при проектировании разведочных скважин, состоят в следующем.

1. Скважина должна достигать тела полезного ископаемого по кратчайшему расстоянию при бурении с висячего бока.

2. Угол встречи скважины с рудным телом (с линией простирающихся и с линией падения) не должен быть очень малым (желательно $- 30^\circ$, в крайнем случае $\geq 20^\circ$).

3. Отправной точкой для проектирования скважин 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 два-три раза быстрее и стоят в три-четыре раза дешевле горных выработок. Однако по достоверности и полноте получаемых геологических данных бурение уступает первенство проходке горных выработок. Разумное сочетание этих двух важнейших средств разведки дает наилучший технико-экономический эффект и обеспечивает высокое качество разведочных работ.

Геофизические работы

Геофизические исследования в ряде случаев играют весьма существенную роль при составлении геологических разрезов, оконтуривании площади распространения полезного ископаемого и даже при определении его качества. Такие геофизические исследования бесспорно можно относить к категории средств разведки; их роль все более увеличивается.

На разведочном этапе геофизические исследования могут быть эффективно использованы для решения двух групп задач.

1. Задачи, связанные с подсчетом запасов преимущественно железорудных и радиоактивных месторождений;

а) обоснование интерполяций между разведочными выработками и разрежение сети последних, а также выбор наиболее рационального расположения разведочных выработок в пределах разведываемого участка;

б) изучение характера границ рудных тел как в горных и разведочных выработках, так и между ними;

в) постановка опробования разведочных выработок с целью наиболее точного оконтуривания рудных тел в разведочных выработках, а также для изучения характера и закономерностей распределения полезного ископаемого в рудном теле и взаимоотношений рудных участков с безрудными;

- г) определение мощностей горизонтов полезных ископаемых в разведочных скважинах;
 д) опробование рудных тел, вскрытых скважинами и горными выработками, на месте залегания.

2. Задачи, связанные с выяснением горнотехнических условий эксплуатации месторождений:

- а) изучение характера вмещающих пород;
 б) определение мощности вскрыши;

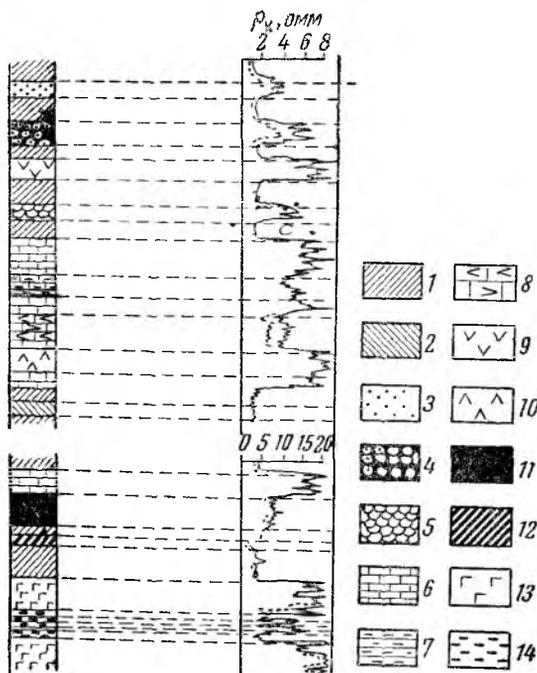


Рис. 62. Кривые кажущегося сопротивления зарегистрированные микрозондом малого размера (точечная кривая) и микрозондом большого размера (сплошная кривая). По В. Н. Дахлову.

1 — глины, 2 — глины высокодисперсные, 3 — пески, 4 — песчаники рыхлые, 5 — песчаники плотные, 6 — известняки и доломиты плотные, 7 — известняки и доломиты глинистые, 8 — известняки и доломиты высокопористые, 9 — гипс, 10 — ангидрит, 11 — каменный уголь, 12 — антрацит, 13 — магматические породы, 14 — сульфидные руды

- в) изучение гидрогеологических условий месторождения;
 г) характеристика других, особых условий разработки месторождения, например характеристика зоны многолетней мерзлоты и т. п.

Не следует понимать изложенное таким образом, что все перечисленные задачи могут решаться геофизическими методами в полном объеме на всех месторождениях. В зависимости от условий, типа и характера месторождений обычно возможно решение той или иной части этих задач.

При разведке выполняются следующие основные геофизические работы: 1) каротаж в различных модификациях (электрический и радиоактивный); 2) приближенное оконтуривание тел полезных ископаемых, в частности слепых; 3) вспомогательные технические измерения.

Каротаж — изучение геологического разреза скважины с помощью геофизических измерений — является одним из способов контроля наблюдений, производимых в скважине. Наибольшее распространение имеют электрические и радиоактивные методы каротажа.

Для более полной характеристики разрезов скважин нередко приходится применять комплекс из нескольких методов каротажа. При технически обоснованном выборе комплекса, определяемом физико-геологическими свойствами изучаемых горных пород и особенностями строения разреза, геофизические методы дают возможность:

- 1) установить местоположение и мощности выходов горных пород в разрезах скважин;
- 2) определить пористость и проницаемость пород;
- 3) установить опорные горизонты для корреляции;
- 4) выделить в разрезах скважин нефтеносные и газonosные породы (и определить коэффициенты их нефтенасыщения и газонасыщения), а также ископаемые угли и зоны оруденения.

К электрическому каротажу относятся:

1. Методы, основанные на изучении удельного сопротивления пород и переходного сопротивления заземлений — методы кажущихся сопротивлений (КС) (рис. 62), электродных потенциалов (МЭП), сопротивления экранированного заземления (СЭЗ), скользящих контактов (МСК) и регистрации тока (РТ).

2. Методы, основанные на изучении потенциалов самопроизвольной поляризации пород. Основным представителем их является метод самопроизвольной поляризации (ПС).

3. Методы, основанные на изучении потенциалов вызванной поляризации пород, возникающей в горных породах при прохождении через них электрического тока. К этому типу относится метод электролитического каротажа (ЭК).

Радиоактивный каротаж объединяет метод естественного гамма-излучения (ГК), метод рассеянного гамма-излучения (ГГК), метод искусственной радиоактивности (НГК), нейтронный метод (ННК), метод изотопов и целый ряд других методов.

В отличие от электрических радиоактивные методы исследования можно проводить в скважинах, закрепленных обсадными колоннами. Эти методы дают возможность при бескерновом изучении горных пород использовать физические параметры, существенно уточняющие бескерновую геологическую документацию разрезов скважин (рис. 63).

Оконтуривание тел полезных ископаемых геофизическими методами в некоторых случаях производится с достаточно высокой степенью точности. Используются для этой цели главным образом электрометрические методы.

Метод заряженного тела. При исследованиях методом заряженного тела одно из питающих заземлений присоединяется к рудному телу. Распределение линий равного потенциала на поверхности

земли определяется характером залегания рудного тела, и изучение распределения этих линий дает возможность установить его контуры. Так, на Чирагидзорском месторождении в Закавказье

были обнаружены штоки пирита, залегающие среди порфиров и порфиристов. На соляных месторождениях Соликамска этим методом было установлено положение полостей, заполненных соляным хорошо проводящим раствором.

Метод заряженного тела может применяться также для определения направления и скорости подземных вод.

Волновые методы основаны на изучении процессов распространения в горных породах электромагнитных волн, частоты которых находятся в диапазоне 10^5 — 10^7 периодов в 1 сек. В настоящее время из числа этих методов используется только метод просвечивания (теневого). Этот метод позволяет исследовать пространство между пройденными горными выработками, а также между горными выработками и скважинами, и тем самым дает возможность обнаруживать слепые рудные тела. Разрабатываются два варианта метода просвечивания — шахтный и скважинный. Более ценным для решения разведочных задач является скважинный вариант радиопросвечивания. Опытными работами доказано, что этот метод по-

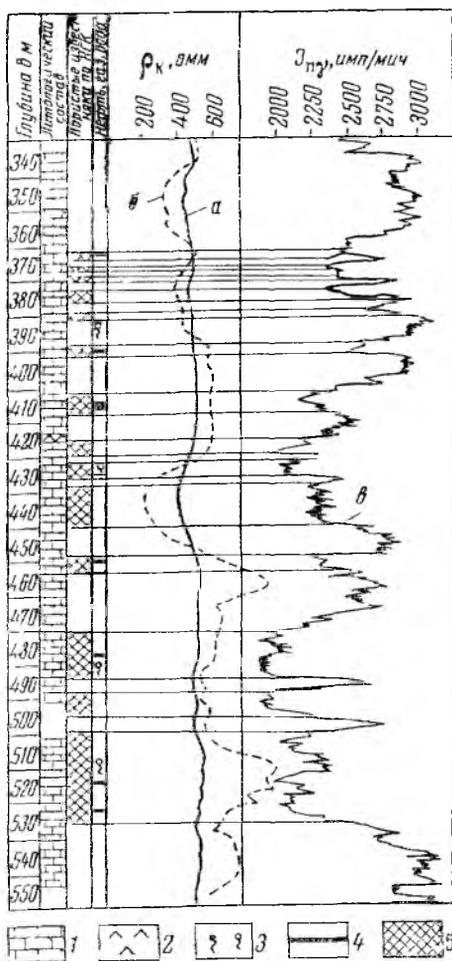


Рис. 63. Выделение нефтеносных и водоносных известняков нейтронным гамма-методом (по В. Н. Дахнову)

a — кривая кажущегося сопротивления, *b* — то же в крупном масштабе, *с* — кривая интенсивности гамма-излучения
1 — известняки, 2 — ангидрит, 3 — газопроявления, 4 — нефтеспоявления, 5 — пористые зоны

зволяет «просвечивать» толщу горных пород мощностью до 400 м.

Вспомогательные технические измерения в процессе геологоразведочных работ сводятся к дистанционному определению технического состояния разведочных скважин (искри-

вления, размеров) и их гидрогеологических условий. При этом используются специальные приборы. Так, угол и азимут искривления скважин измеряются с помощью инклинометров ИШ-2 и ФИ, а диаметр скважин каверномером; определение высоты подъема цемента раствора производится термическим и радиоактивным методами; затрубная циркуляция вод определяется с помощью термометра и отмечается на термограммах характерным участком постоянных температур; уровень жидкости в скважине устанавливается по времени пробега звуковых волн.

2. СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ

Группировка разведочных систем

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 форму, 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.

Иллюстрировать каждую систему разведки примером из практики, т. е. фактическими данными разведки какого-либо месторождения громоздко и нерационально. Ниже приведены только четыре примера разведки месторождений основных морфолого-генетических групп: 1) пластов, 2) штокверков, 3) жил и 4) трубчатых тел.

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 разделить на три группы* систем: буровых, горных и горнобуровых.

Группа буровых систем

Бурение скважин является основным средством разведки, но осуществление разведки исключительно буровыми скважинами возможно лишь на месторождениях, обладающих выдержанными

* Сюда не включены поверхностные выработки, которые полностью относятся к поисково-разведочной стадии работ, хотя дополнительные выработки на поверхности проходятся не только во время разведки, но даже в период эксплуатации.

формами, большими размерами, непрерывностью тел полезного ископаемого и относительно равномерным его качеством. В противном случае, при невыдержанных 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 вертикальных ударно-вращательных скважин.

II. Системы вертикальных ударно-канатных или колонковых скважин.

III. Системы наклонных колонковых 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, которые являются важным средством разведки.

I. Системы вертикальных ударно-вращательных скважин применяются для разведки неглубоко залегающих пологих и горизонтальных плоских тел полезного ископаемого, обычно с относительно малой изменчивостью качества: месторождений озерно-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 выхлых 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. 64). Реже буровые скважины располагаются по какой-либо правильной сети.

По техническим средствам разведки выделяется три типичные разновидности систем ударно-вращательных вертикальных скважин.

Ia. Система вертикальных скважин вращательного бурения, осуществляемая буром Эмпайр или шнековым механическим устройством.

Iб. Система вертикальных скважин комбинированного ударно-вращательного бурения, реализуемая с помощью простейшего бурильного комплекта или с применением малой механизации (вибратор).

Iв. Система вертикальных скважин ударно-канатного бурения, проводимая с помощью самоходных станков.

а

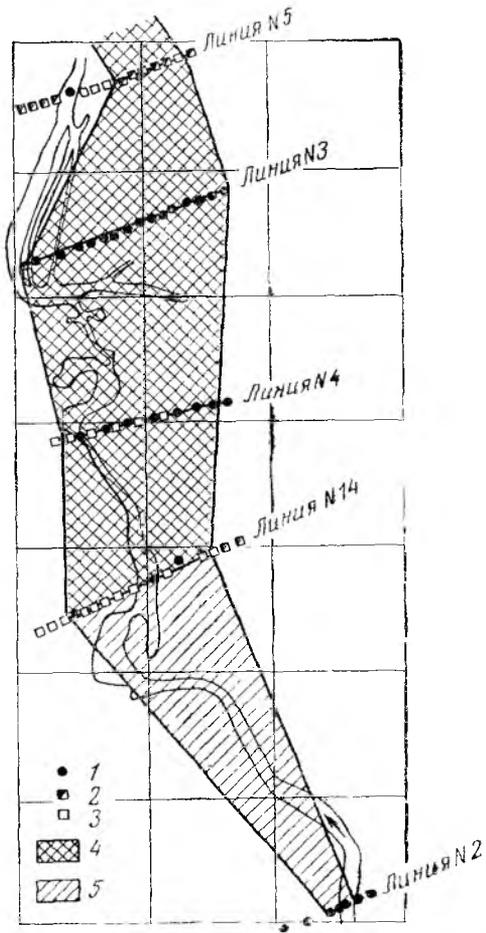
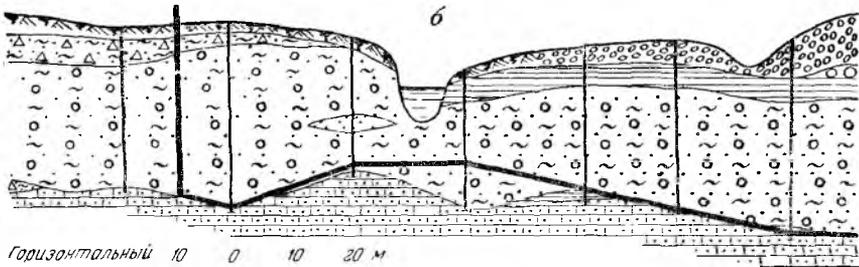


Рис. 64. Система разведки россыпи мелкими вертикальными скважинами (по В. И. Смирнову)

а -- план: 1 — скважина, 2 — шурф, 3 — шурфоскважина, 4 — запасы категории В, 5 — запасы категории С, 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



II. Системы вертикальных ударно-канатных или колонковых 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 джекказганских, штокверки медно-порфириновых руд типа коунрадских, многие пласты нерудных полезных ископаемых. Исключительно широко эти системы применяются при структурных исследованиях нефтяных месторождений и разведке подземных вод.

Системы вертикальных скважин обычно охватывают глубины от 70 до 1000 м. Большие глубины характерны лишь для разведки некоторых нефтяных и 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 вертикальными скважинами ударно-канатного или колонкового бурения применяются совершенно другие буровые агрегаты по сравнению с бурением ударно-вращательных скважин. По типу буровых агрегатов различаются три системы вертикальных скважин*.

IIa. Система вертикальных ударно-канатных скважин, которые проходятся с помощью тяжелых ударно-канатных станков. Система применяется в тех случаях, когда не обязательно получение керна. Она может быть рекомендована для пород любой крепости, но наиболее эффективна в крепких и очень крепких, особенно в трещиноватых породах. Каротаж скважин в большинстве случаев обязателен. Эта система особенно важна для штокверковых месторождений.

IIб. Система вертикальных колонковых скважин, которая применяется в породах любой крепости при необходимости получения керна. Для корректирования данных, получаемых по интервалам с неполным выходом керна, часто необходим каротаж. Особенно хорошие результаты эта система дает при разведке каменноугольных

* Четвертая система, представленная скважинами роторного и турбинного бурения, употребляется для разведки нефти и газа.

районов и бассейнов — пример, который целесообразно рассмотреть подробнее.

Каменноугольные пласты Донбасса в целом относятся к устойчивым стратиграфическим горизонтам, изменяясь в сравнительно небольших пределах. Тем не менее их подразделяют по степени изменчивости на четыре группы: 1) устойчивые рабочие пласты, сохраняющие мощность и простоту строения; 2) относительно устойчивые рабочие пласты, сохраняющие мощность в определенных пределах, но изменяющие строение; 3) неустойчивые рабочие пласты, часто теряющие рабочую мощность и меняющие строение, и 4) пласты со случайной рабочей мощностью. Рабочая мощность принимается равной 0,4—0,7 м в зависимости от угла падения и положения пласта в свите.

Разведка во всех случаях осуществляется с помощью колонковых скважин, располагаемых по линиям вкрест простирания пород. Очень часто разведка в Донбассе сводится к прослеживанию уже разрабатываемых пластов на глубину и по простиранию в пределах хорошо освещенных площадей. В этом случае первые скважины могут быть пройдены по разведочным линиям, удаленным от уже изученного пункта по простиранию на расстояние: для первой группы — 3000 м, для второй — 2000 м, для третьей — 1000 м и для четвертой — 750 м. Если же работы начинаются на новом участке (но в пределах площади детальной съемки), то расстояние между линиями скважин в стадии предварительной разведки следует принимать несколько меньшими — от 2000 до 500 м.

Примерные расстояния между линиями скважин при детальной разведке на новых площадях для месторождений первой, второй, третьей и четвертой групп пластов выражаются соответственно в 1000; 750; 300 и 150 м.

То же колонковое (в основном вертикальное) бурение преобладает в Карагаиде, Кузбассе (рис. 65) и в большинстве других каменноугольных районов и бассейнов.

В Кузбассе разведочное бурение часто позволяет обнаружить не только разнообразные качества углей, но и сложность тектонических условий их залегания. Для поисково-разведочных работ в Кузбассе широко применяются всевозможные мелкие горные выработки (канавы, шурфы и др.) и мелкие скважины ударно-вращательного бурения. В тектонически очень сложных каменноугольных районах типа Алапаевска на Урале или Сучана на Дальнем Востоке нередко при детальной и даже предварительной разведке разобраться в сложном строении месторождений с помощью одних колонковых скважин невозможно и приходится применять горные разведочные выработки.

III. Комбинированная система ударно-канатных и колонковых скважин, которая 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. Большое количество материала для проб легко обеспечивается ударно-

канатным бурением с достаточно большим диаметром скважин. Вторая задача (получение разреза) 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 эффективна при разведке штокерковых месторождений и некоторых других.

Другая модификация данной системы представляет собой сочетание обоих видов бурения в одной скважине, когда, например, верхняя часть скважины проходит ударно-канатным бурением в породах, неблагоприятных для колонкового бурения (галечники или очень крепкие породы), особенно если для них не требуется получение керна,

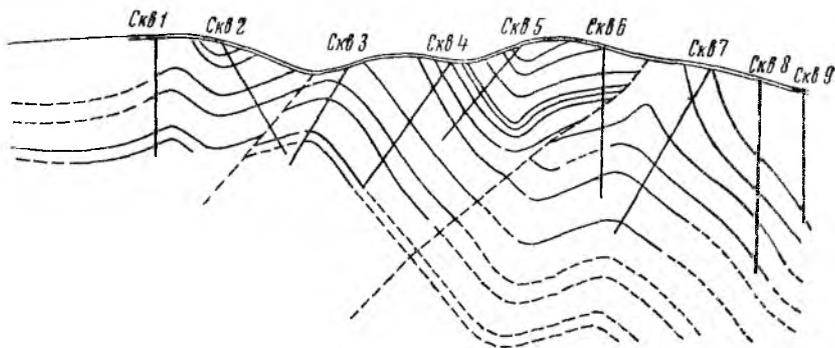


Рис. 65. Разрез по разведочной линии Осиповского месторождения Кузнецкого бассейна (канавы вкрест простирания и серия колонковых скважин с различным углом наклона)

а нижняя часть, проходима по полезному ископаемому, бурится с отбором керна. Есть и специальные станки для применения комбинированного бурения.

Пример разведки штокеркового месторождения Коунрад. Месторождение, представляющее собой штокерковое тело бедных вкрапленных и мелкопрожилковых медных руд, залегает в интрузивных сильно измененных породах. Участок месторождения сложен кварцитами, развившимися по гранодиорит-порфирам в центральной части месторождения и по эффузивам на периферии. Оруденение различной концентрации проявляется не только в кварцитах по гранодиорит-порфирам, но и в кварцитизированных эффузивах приконтурной полосы.

В плане штокерк имеет овальную, в общем почти изометрическую форму. В вертикальном направлении выделяются пять зон, характеризующихся различным качеством руд (сверху вниз):

- 1) выщелачивания мощностью от 0,5 до 80 м;
- 2) окисления мощностью от 0,5 до 60 м;
- 3) смешанных руд мощностью от 0 до 50 м;

4) вторичного сульфидного обогащения мощностью от 10 до 270 м;

5) первичных сульфидных руд, глубина распространения которых еще не установлена.

Границы между этими зонами прихотливы и прерывисты, что создает довольно пеструю картину распределения различных типов и сортов руд в вертикальных разрезах.

Вещный состав руд Коунрадского месторождения сравнительно прост. Кроме меди, на отдельных участках промышленное значение имеет молибден. Но минералогически породы месторождения характеризуются большим разнообразием, определяющим расчленение месторождения по приведенным выше вторичным зонам: в зоне окисления преобладают карбонаты и силикаты меди, в зоне вторичного обогащения — халькозин, в зоне первичных руд — пирит и халькопирит.

Распределение полезных компонентов в рудах неравномерное и весьма неравномерное, обусловленное беспорядочным расположением рудных прожилков и вкрапленности в рудоносных породах. По различным горизонтам коэффициент вариации содержания меди колеблется от 60 до 125%.

Разведочные работы состояли в основном в бурении вертикальных скважин, с тщательным опробованием и попутным изучением минерального состава, физико-механических свойств руд и гидрогеологических особенностей месторождения. Небольшой объем горных работ (неглубокие разведочные выработки) предназначался для контроля данных бурения и для получения валовых проб с целью технологических испытаний руд, а также для решения ряда горно-технических вопросов.

Первоначальная разведочная сеть колонковых скважин имела плотность в среднем 100×100 м. Затем для разведки зоны окисления сеть была сгущена до 24×24 м (рис. 66).

При эксплуатации в карьере выполнялось эксплуатационное опробование всех взрывных скважин (мелких) ударного бурения, расположенных на расстоянии 3—5 м друг от друга. Подобное опробование дает данные исключительной ценности для решения вопроса о плотности разведочной сети (см. выше).

Зона вторичного сульфидного обогащения разведывалась более глубокими скважинами ударного бурения, но по разреженной сетке: 48×48 м. Зона первичных руд была освещена небольшим количеством глубоких колонковых скважин, неравномерно расположенных по площади месторождения.

В результате анализа разведочных данных было установлено, что 48-метровая сетка оконтуривает участки промышленного оруденения в отношении запасов с точностью $\pm 20\%$, 24-метровая сетка с точностью $\pm 10-20\%$. К тому же, если учесть значительные ошибки опробования бедных коунрадских руд (до $\pm 8,5\%$), то окажется, что общая достоверность разведочных данных, несмотря на густую сеть разведочных скважин, невелика. В связи с этим, а также из-за

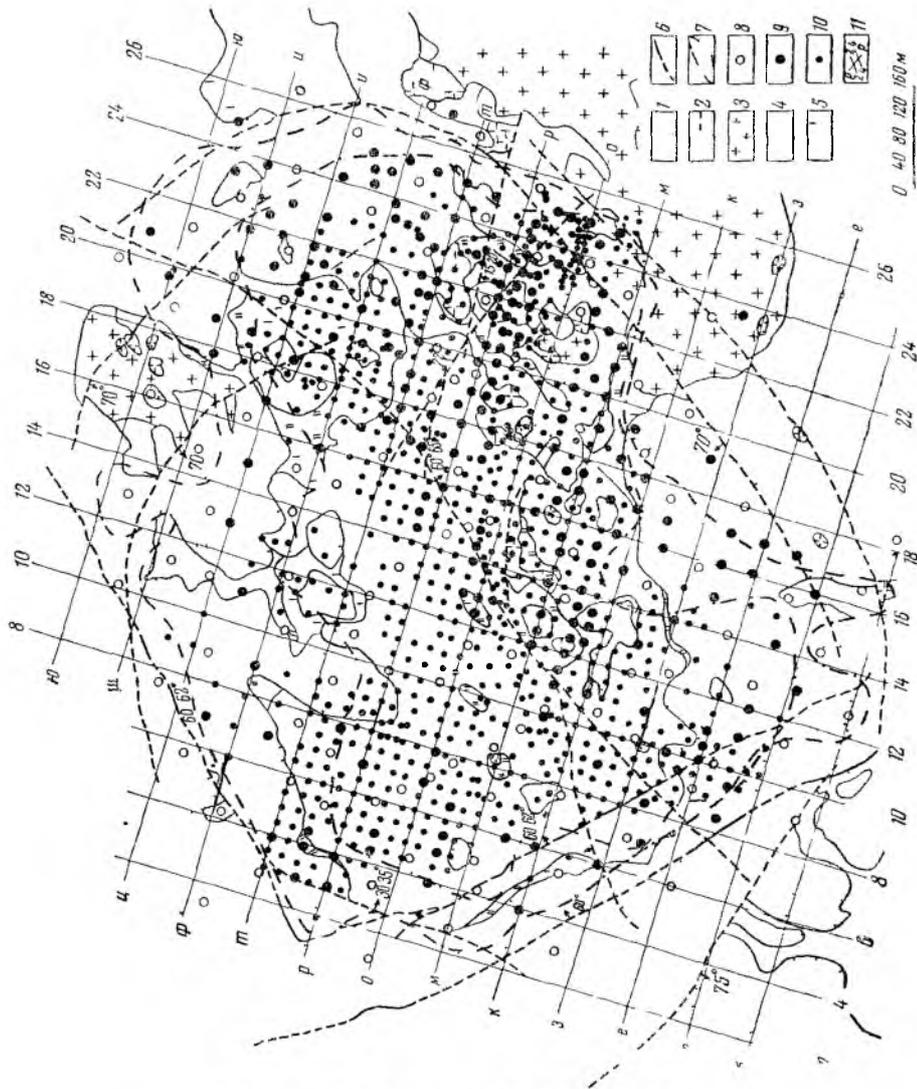


Рис 66 План разведки
отработанной части Ко-
унрадского месторожде-
ния

1 — вторичные кварциты по
эффузивам 2 — неизменен-
ные гранодиорит-порфиры и
кварцевые диорит порфиры
3 — выщелоченные гра-
ниит порфиры и кварцевые
диорит порфиры 4 — вто-
ричные кварциты по гра-
нодиорит-порфирам 5 — ин-
тенсивно каолинизирован-
ные вторичные кварциты
6 — пльзонитовые наруше-
ния 7 — контуры распро-
странения халькозиновых и
окисленных руд 8 — сква-
жины бурения 1929—
1934 гг 9 — скважины бу-
рения 1938—1939 гг проби-
ранные в глубине горизонта
620 м 10 — мелкие сква-
жины оставленные выше
горизонта 620 м 11 — линия
разреза

необходимости выделения сортов руд, явилась обоснованной широкая эксплуатационная разведка, которая и осуществлялась путем опробования взрывных скважин, проходимых по весьма густой сети на уступах эксплуатационного карьера. В итоге сравнение некоторых данных разведки с данными эксплуатации показало, что при разведке, предшествующей эксплуатации, нет необходимости особенно сгущать разведочную сеть, так как даже 24-метровая сетка не обеспечивает достаточно достоверного выяснения контуров промышленных

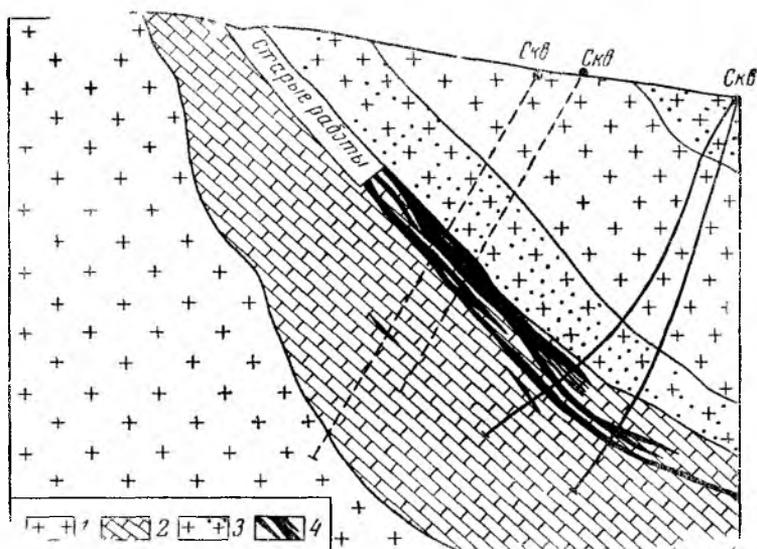


Рис 67 Система наклонных буровых скважин на Савинском месторождении

1 — кварцевые диориты, 2 — известняки 3 — сланцы и кварциты, 4 — рудные тела

участков и содержания полезных компонентов. Необходимые уточнения целесообразно производить в процессе разработки месторождения по данным эксплуатационных скважин, не затрачивая излишних средств в доэксплуатационный период

III. Системы наклонных колонок скважин применяются для разведки крутопадающих и наклонных плоских тел полезного ископаемого — пластовых, жиллообразных и линзообразных. В чистом виде эти системы применяются сравнительно редко (в некоторых каменноугольных районах), так как верхние части такого рода месторождений обычно вскрываются мелкими горными выработками. Они часто используются для доразведки месторождений, эксплуатировавшихся в верхней части (рис. 67).

Обычно глубины наклонных буровых скважин колеблются в пределах 50—1200 м.

Скважины задаются преимущественно по разведочным линиям, ориентированным вкрест простирания тела полезного ископаемого или продуктивной зоны. Положение отдельных скважин по линии определяется требованиями опробования и структурными условиями.

Система наклонных скважин была применена для разведки Белорецкого железорудного месторождения (см. гл. V «Подсчет запасов»).

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 и поэтому 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 и т. п.

Группа горных систем

Горными системами осуществляется полная и наиболее достоверная разведка месторождений. Нередко месторождения, ранее забракованные по результатам бурения (например, Ивановское и другие в Восточном Забайкалье) получали промышленную оценку по данным разведки горными выработками. Однако, поскольку проходка горных выработок требует значительных затрат времени и средств, применение горных систем в чистом виде обычно ограничивается разведкой сложных тел полезных ископаемых, весьма неустойчивых по формам и с крайне неравномерным распределением полезного ископаемого.

Горные системы рационально разделить на 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 вертикальных ударно-вращательных 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.

Глубины, до которых разведку шурфами во многих условиях можно считать экономичной, составляют 15—20 м; глубже работы значительно удорожаются. Ориентировочным пределом применения данной системы следует считать среднюю глубину шурфов 30 м.

Разведочные шурфы обычно располагаются по линиям, но для месторождений с неясной анизотропией свойств (месторождения коры выветривания, делювиальные россыпи и т. п.) нередко применяется и правильная разведочная сеть.

Различаются две разновидности систем разведочных шурфов:

Va. Система простых шурфов, призванная подобно буровым скважинам, произвести ряд пересечений тела полезного ископаемого.

Vб. Система шурфов с рассечками, представляющая собой более сложное сочетание разведочных выработок и более надежно освещающая подземную ситуацию и внутреннее строение тел полезного ископаемого (рис. 68). Особенно характерна система шурфов с кваршлагами.

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 размеры тела полезного ископаемого превышают габариты штольни, то от нее в обе стороны проходят рассечки до пересечения контакта полезного ископаемого с вмещающими горными породами (рис. 69). Расстояние между разведочными штольнями по вертикали зависит от вероятной высоты этажа при будущей эксплуатации разведываемого месторождения. Обычно его рационально принимать, если это технически возможно, 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.

Выделяются три основные разновидности систем разведочных штолен:

VIa. Система штолен, прокладываемых по простиранию продуктивной зоны, которая удобна в тех случаях, когда эта зона обнажена (разрезана) по падению горным распадком или речной долиной.

* Здесь и ниже говорится о разрезах, непосредственно проходящих через разведочные выработки (без использования проекции близлежащих выработок).

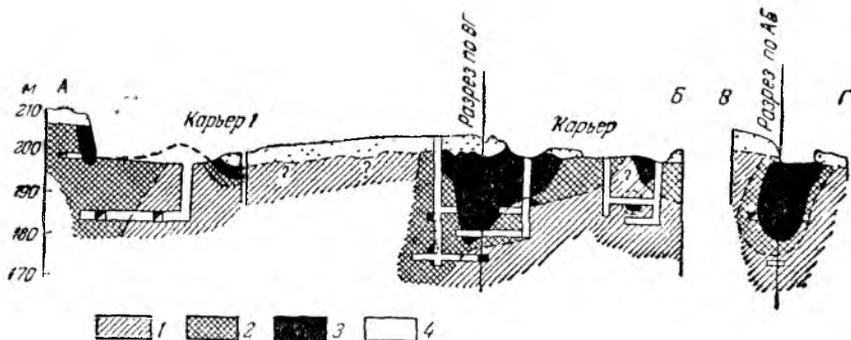


Рис. 68. Система шурфов с рассечками на месторождении Семиз-Бугу (по П. М. Татариниову)

1 — вторичные кварциты, 2 — андалузитовые породы, 3 — залежки корунда, 4 — делювий

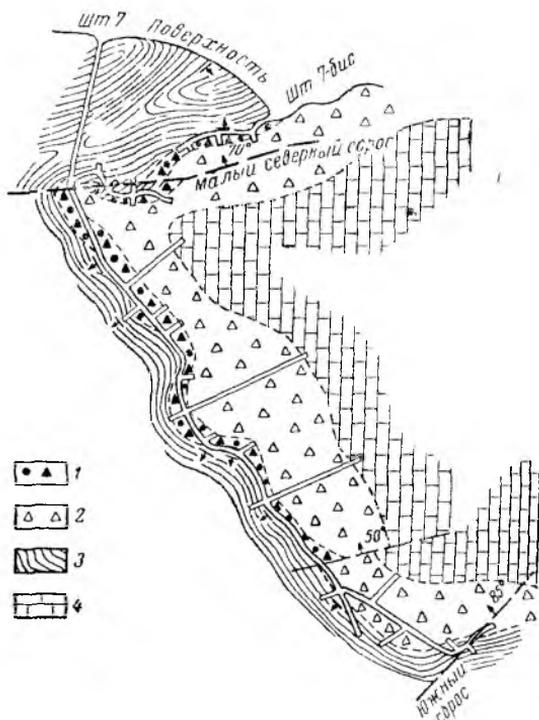


Рис. 69. Разведка штольней с рассечками (по А. К. Полякову)

1 — оруденелая брекчия промышленная, 2 — оруденелая брекчия непромышленная, 3 — сланцы, 4 — известняки

VIб. Система штолен кварцлажного типа, применяемая в случае расчлененности рельефа вдоль продуктивной зоны месторождения. Штольня проводится вкрасе просгирация тела полезного ископаемого (зоны), и от места пересечения его штольной задаются штреки по простиранию. Штольни нередко проходятся и под углом к простиранию рудного тела.

VIв. Система штолен со слепой шахтой на нижнем горизонте, представляющая собой комбинированную систему, которая применяется в тех случаях, когда тело полезного ископаемого погружается ниже самой низкой отметки разведочного участка (рис. 70).

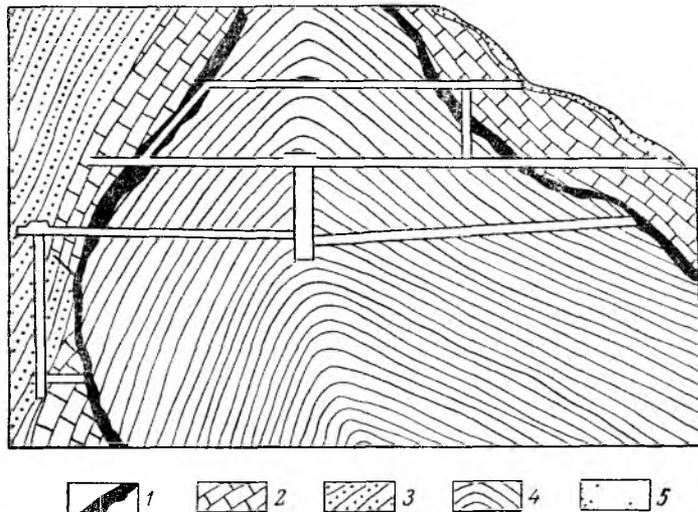


Рис. 70. Система разведки штольнями со слепыми шахтами (по П. М. Татаринovu)

1 — залежь талька, 2 — известняки, 3 — граувакка, 4 — графитовые сланцы, 5 — делювий

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 кварцлагов 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 проходят 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:

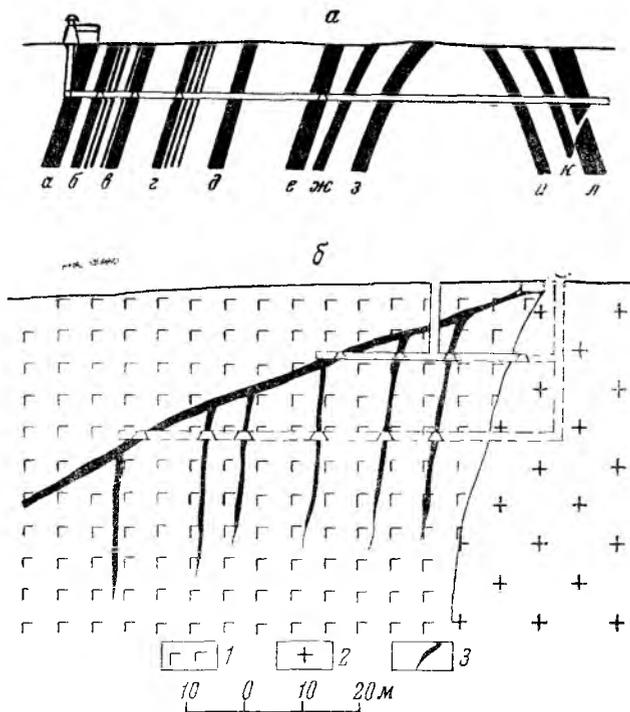


Рис. 71. Система разведки шахтой с квершлагами и штреками

а — разведка угольных пластов, *б* — разведка системы опоясывающих жил, приуроченных к пологому взроосу (по И. С. Бернштейну)

1 — порфириды и их туфы, 2 — гранодиориты, 3 — рудные жилы

VIIa. Система вертикальных разведочных шахт с квершлагами, широко распространенная 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. 71).

VIIб. Система вертикальных разведочных шахт, пересекающих продуктивную зону, которая применяется для разведки пологих,

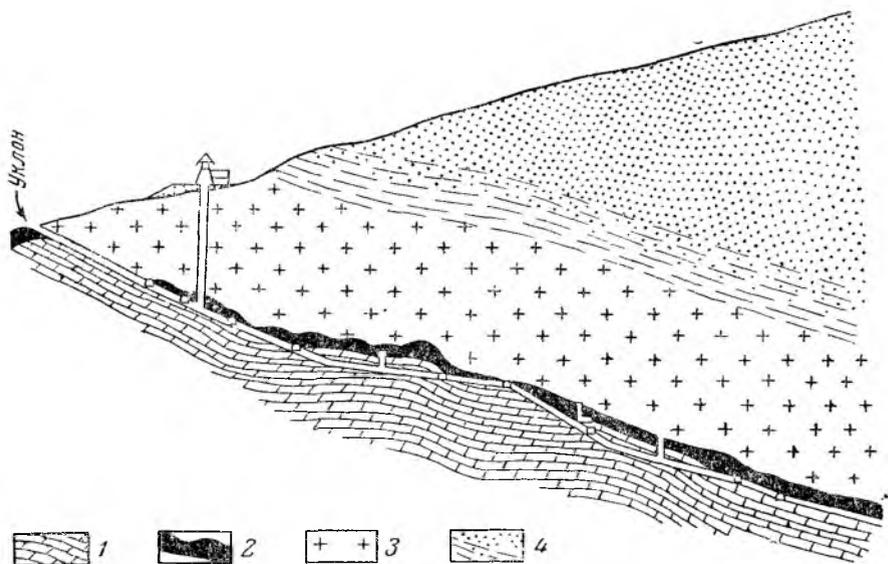
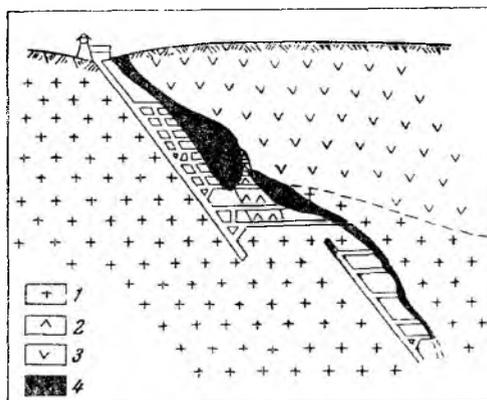


Рис. 72. Система вертикальных шахт, пересекающих пологие рудные зоны, с штреками, восстающими и уклонами (месторождение Ледвиль, Колорадо)

1 — голубой известняк, 2 — руда, 3 — белый порфир, 4 — песчано-сланцевая толща

Рис. 73. Система разведки наклонной шахтой с кварцлагами (рудник Крейтон, Сёдбери)

1 — граниты, 2 — зеленокаменные породы, 3 — нориты, 4 — сульфидные руды



часто слепых тел полезного ископаемого типа железказганских медистых песчаников или донной залежки медно-никелевых руд Монча-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 рассечек из них (рис. 72). Эта же система применяется для разведки различных гнезд и труб.

VIIв. Система наклонных шахт, которая 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. 73).

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 выработок и буровых скважин, 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 вертикальных ударно-вращательных скважин с контрольными шурфами.

IX. Системы разведочных штолен и буровых скважин.

X. Системы разведочных шахт и буровых скважин.

VIII. Системы вертикальных ударно-вращательных скважин с контрольными шурфами находят применение в тех же условиях, что и системы вертикальных ударно-вращательных 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.

Нормальными расстояниями между выработками на разведочной линии можно считать: для простых россыпей 40 м, для сложных 20 м и для особо прихотливых 10 м. Во многих случаях лучше начальный интервал увеличить в два раза, т. е. закладывать выработки на расстоянии соответственно 80, 40 и 20 м. В дальнейшем этот интервал уменьшается вдвое. Такой порядок заложения выработок может дать отрицательные результаты при разведке особо прихотливых россы-

ней, в которых весь полезный материал иногда концентрируется в струях, кустах или карманах. Если имеются основания ожидать такое распределение полезного материала, то для прихотливых, и иногда и для сложных россыпей интервалы между выработками нужно сразу принимать наименьшие.

Опробованию подвергается вся толща аллювия, начиная с поверхности и кончая породами плотика, причем в торфах интервалы опробования, естественно, увеличиваются. В нескольких выработках необходимо определять состав пород всего разреза рыхлых отложений по крупности и особенно процентное содержание валунов, их средний и максимальный размеры.

Многолетняя мерзлота должна фиксироваться с такой же точностью и детальностью, как и сам продуктивный пласт. В продольных и поперечных профилях многолетняя мерзлота должна быть оконтурена наряду с пльвунами и водоносными слоями. Пример литологического состава россыпи и распределения многолетней мерзлоты представлен на рис. 74.

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.

Эти системы, как и системы VI, особо часто применяются при разведке жил и жильных зон цветных и редких металлов.

Пример разведки Хрустального оловорудного месторождения. Месторождение представлено серией крутопадающих оловоносных рудных жил. Оно расположено в западном крыле антиклинали, сложенной интенсивно дислоцированными свитами терригенных отложений. В пределах зоны шириной около 1,5 км, протягивающейся в меридиональном направлении, отмечаются многочисленные трещины сколового характера, использованные кварцево-касситеритовыми и сульфидно-касситеритовыми жилами, дорудными и послерудными дайками порфиристов.

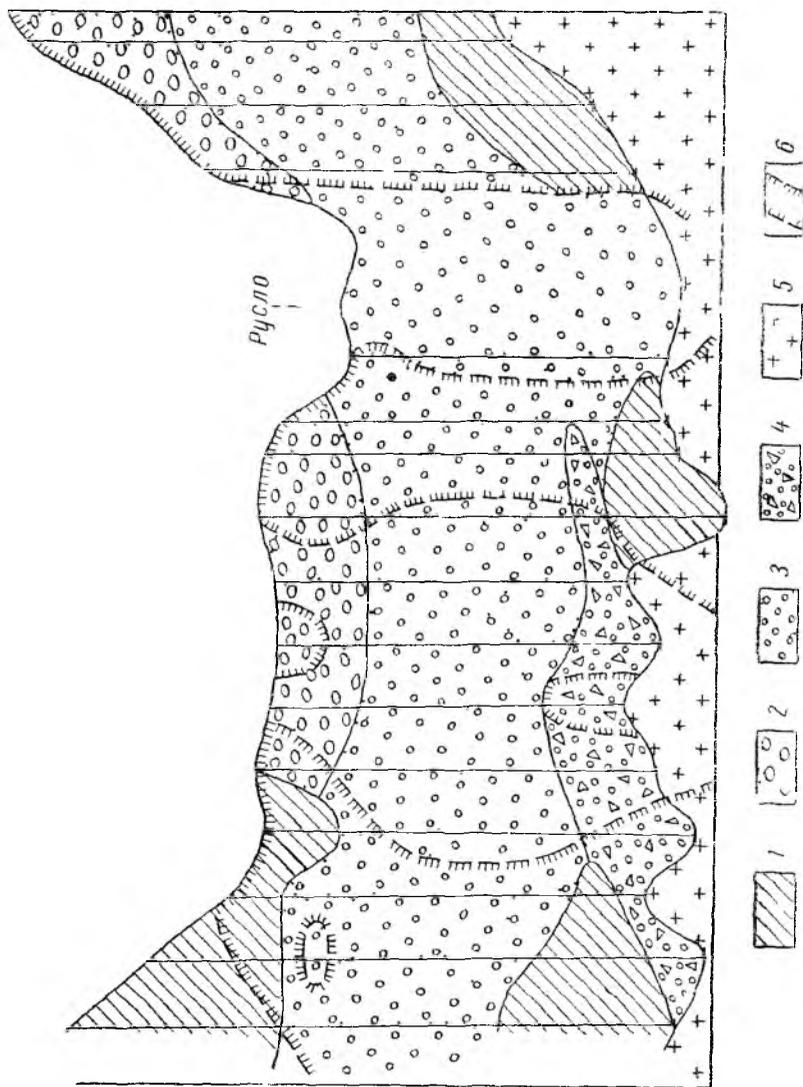
Рудные жилы обычно более или менее выдержаны по простиранию и падению, хотя послерудные нарушения местами затрудняют их прослеживание. Морфологические особенности каждой рудовмещающей трещины и история формирования рудных жил обусловили их сложное внутреннее строение. Многократные приоткрывания рудовмещающих полостей определили последовательное образование нескольких минеральных комплексов, которые местами оказались пространственно разобщены. В результате заполнения серии сближенных параллельных трещин образовались характерные полосчатые текстуры руд.

Некоторые части рудных тел представлены зонами дробления с нечеткими контактами (жила Хлоритовая), с которыми сопряжены различные апофизы. Генетические особенности рудных жил обусловили весьма неравномерное распределение полезных компонентов.

Главным средством разведки месторождения являлись горные выработки, использованные в дальнейшем для эксплуатации

Рис 74. Разрез по
разведочной линии
через россыпь в Ку-
ронах

1 — Глина
2 — круп-
новолновый слой
вечный, 3 — щебень а
с песком, 4 — илотики,
5 — илотики,
6 — граница многолет-
ней мерзлоты



месторождения Рудные жилы были вскрыты вначале магистральными канавами, а затем для их прослеживания в промежутках между магистральными канавами через 50—60 м проходились короткие канавы. В дальнейшем канавы были сближены до 20—30 м. Для вскрытия свежих частей рудных тел с целью более надежного опробования из канав по рудным жилам проходились шурфы глубиной от 2 до 12 м. (Канавные работы относятся, конечно, к поисково-разведочной стадии).

Штольни задавались вкрест простирания рудной зоны на трех горизонтах с вертикальным расстоянием между ними 80 м (рис. 75). В дальнейшем, уже в процессе эксплуатационной разведки и при подготовке месторождения к эксплуатации, нарезались промежуточные горизонты (через 40 м) связанные между собой системой восстающих, которые задавались на расстоянии 60 м один от другого. Ниже горизонты нарезались с помощью слепой шахты, пройденной с пятого разведочного горизонта.

Бурение применялось главным образом для прослеживания рудных жил ниже разведочных шторьков. Скважины бурились с поверхности и из подземных выработок. Бурение короткометражных скважин из подземных выработок для вскрытия параллельных рудных жил осуществлялось станками ГП-1.

Буровыми скважинами оруденение зафиксировано до глубины 450 м от поверхности. По результатам наиболее глубоких скважин и геологическим соображениям возможно определение промышленных перспектив месторождения (запасы категории С₂).

Сравнение материалов разведки и эксплуатации обнаружило хорошее совпадение подсчитанных данных с фактическими. Так, фактическое содержание олова в добытой руде по жиле Главной только на 5% превысило цифры, принятые за основу при подсчете запасов. Расхождение между подсчитанными запасами металла и фактически добытым его количеством за девять лет эксплуатации также составляет всего 5,5%

Х. 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 системой разведочных шахт, а нижняя — буровыми скважинами. При этом различаются две разновидности систем.

Ха. Система разведочных шахт и буровых скважин, задаваемых с поверхности.

Хб. Система разведочных шахт и буровых скважин подземного бурения.

Разведка ветвящихся залежей и неправильных груб осуществляется шахтами с системой подземных выработок и короткометражными подземными скважинами

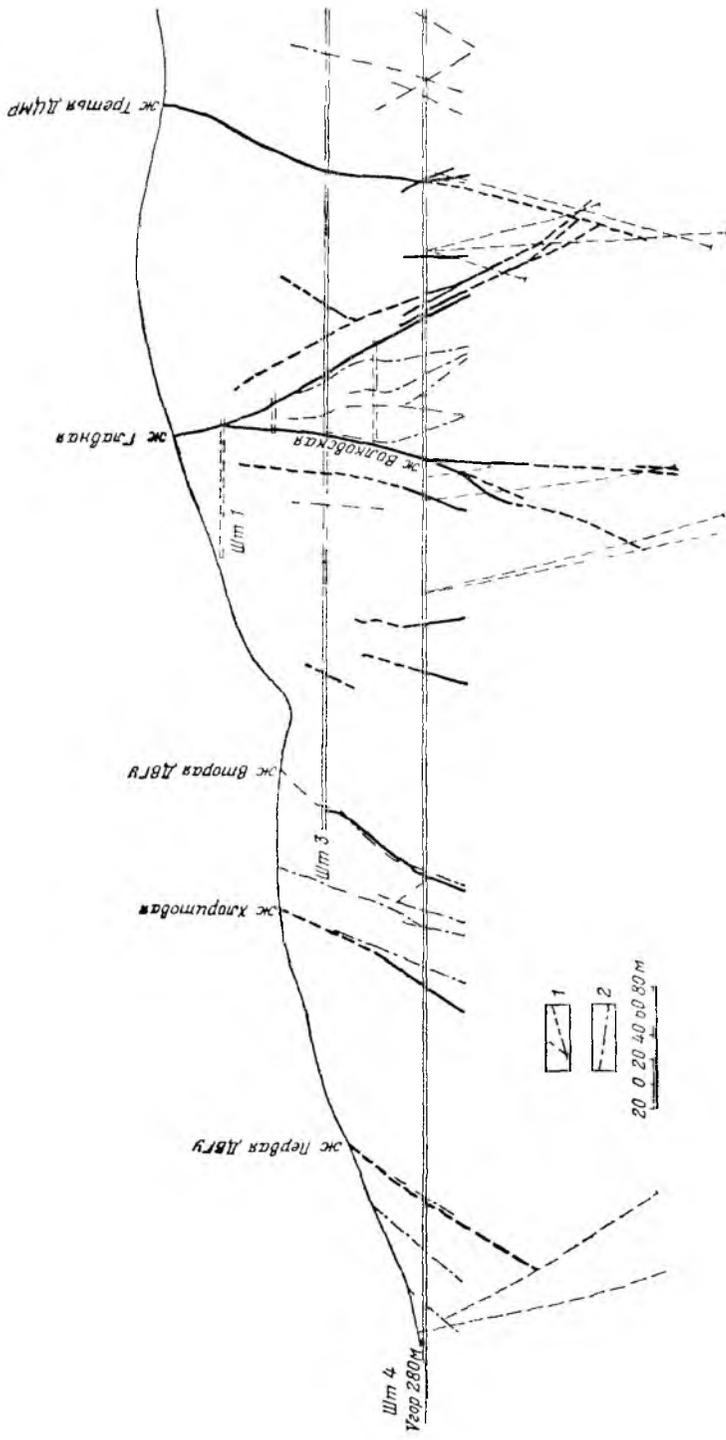


Рис. 75. Разрез по оси штольни № 4 на Хрустальном месторождении (по В. П. Подолуху)
 1 — рудные жилы, 2 — тектонические нарушения

Характерным примером месторождений рассматриваемой группы может служить месторождение Курусай в Карамазаре.

Пример разведки месторождения Курусай. Месторождение представлено ветвящимися трубообразными залежками богатых полиметаллических руд, залегают среди известняков, нарушенных системой трещин, которые в основном и обусловили структуру этого месторождения.

Рудные тела месторождения располагаются в северо-западной части Главной тектонической зоны, в том месте где она изменяет свое простирание, пересекается и смещается другим крупным нарушением — Восточным сбросом. Часть рудных тел выражена на дневной поверхности небольшими изометричными выходами окисленной руды. Другие рудные тела являются слепыми. Все они имеют прихотливую форму, неожиданно выклиниваются или сочленяются друг с другом, протягиваясь на глубину свыше 150 м (рис. 76).

Разведка этого месторождения, как и других ему подобных, возможна лишь с помощью горных выработок, путем прослеживания залежей шаг за шагом в горизонтальных сечениях и между горизонтами. Эти же горные выработки играют роль и эксплуатационных, так как попутно с разведкой от горизонта к горизонту производится обработка залежей.

Кроме перечисленных главных систем разведочных работ, существует несколько комбинаций, подземных горных разведочных выработок с горизонтальными буровыми скважинами, заменяющими расчечки и орты, а также другие сочетания различного рода горных выработок и буровых скважин, имеющие второстепенное значение.

Факторы, определяющие выбор системы

Выбор той или иной системы и технических средств разведки зависит от различных природных и технико-экономических условий. Эти условия весьма многообразны. В одних случаях решающее

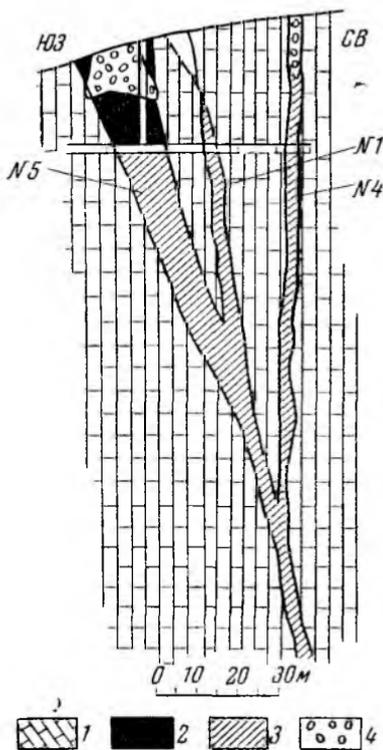


Рис. 76. Разрез месторождения Курусай (по Ф. И. Вольфсону)

1 — мраморы, 2 — окисленные руды.
3 — сульфидные руды, 4 — завалы древних выработок
Цифрами на рисунке указаны номера рудных тел

значение имеют одни факторы, например природные геологические особенности месторождения, в других случаях выбор системы диктуется почти исключительно технико-экономическими соображениями. Таким образом, проблема выбора системы и, следовательно, технических средств разведки, составляющая основное содержание проектирования разведочных работ, довольно сложна, и решение ее не всегда бывает однозначным.

Геологические факторы, характеризующие месторождение, обычно играют основную роль при выборе системы и средств разведки. К числу главнейших факторов относится форма и размеры месторождения, а также характер и степень изменчивости качества полезного ископаемого.

Горнотехнические условия залегания месторождения включают, с одной стороны, соотношения рельефа поверхности, глубины и элементов залегания месторождения, а с другой — его доступность для тех или иных технических средств разведки в зависимости от характера вмещающих пород и водоносности.

Общая географо-экономическая обстановка, в которой находится разведываемое месторождение, существенно влияет на выбор системы разведки. Из этой последней группы факторов главнейшими являются: транспортные возможности, энергетическая база, водные ресурсы, наличие крепежного леса, климат.

О технико-экономическом анализе разведочных систем

При сравнении различных систем разведки и выборе наиболее рациональной существенное, а иногда решающее значение имеют технико-экономические показатели и прежде всего стоимость разведочных выработок, отнесенная к ценности полезного ископаемого. Такого рода технико-экономический анализ разведочных систем весьма желателен, но до сих пор нигде не произведен.

Укажем основные направления, по которым должен производиться технико-экономический анализ систем разведки.

1. Применимость различных технических средств к определенным объектам разведки.

2. Рациональное в техническом отношении комплексирование различных разведочных средств применительно к различным по вещественному составу и физическим свойствам полезным ископаемым и вмещающим горным породам.

3. Сравнительная эффективность различных разведочных систем с учетом различной степени точности и достоверности результатов разведки.

4. Экономичность различных разведочных систем, которая может быть выражена рядом показателей: расходом средств на единицу разведанной руды или на единицу разведанного полезного компонента, размером амортизации средств, затраченных на разведку, и т. п.

Такой технико-экономический анализ разведочных систем позволил бы найти достаточно строгий способ их оценки и тем самым обеспечить бы наиболее правильный подход к выбору системы и технических средств разведки в каждом конкретном случае.

Решение вопроса о системах разведки особенно важно для рационального планирования и проектирования разведочных работ.

Применимость различных систем для разведки месторождений основных геолого-минералогических типов

Обобщенная схема применимости различных систем разведки для тех или иных геолого-минералогических типов месторождений приведена в табл. 22. Естественно, что в такой таблице невозможно отразить все многообразие природных условий, обуславливающих применение определенной разведочной методики. Условия залегания указаны только для тех месторождений, где они характерны и легко поддаются фиксации (первая группа — пластовых и пластообразных тел).

Однако общую картину применения различных систем разведки в зависимости от принадлежности месторождения к той или иной группе эта таблица отражает. В ней отчетливо показано постепенное усложнение разведочных систем (от ударно-вращательного бурения до горных работ как единственного разведочного средства) по мере перехода от простых форм месторождений в мягких осадочных породах к трубам и мелким гнездам в крепких осадочных и интрузивных породах, а также по мере увеличения изменчивости качества полезного ископаемого.

3. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАЗВЕДКЕ НЕФТИ И ГАЗА

Разведка нефтяных и газовых месторождений существенно отличается от разведки твердых полезных ископаемых. Хотя стадии разведки нефтяных месторождений и месторождений твердых полезных ископаемых совпадают, специфика месторождений нефти и газа накладывает определенный отпечаток на методику разведочных работ каждой стадии.

На поисково-разведочной стадии, как и для твердых полезных ископаемых, проходятся различные поверхностные выработки, но они не преследуют цели обнаружения и прослеживания выходов нефти, как это часто бывает в случае какого-либо рудного месторождения, а предназначаются главным образом для конкретного установления предполагаемой нефтеносной структуры. Этой же задаче подчинено и бурение глубоких скважин, так называемое «структурное бурение», относящееся уже в большинстве случаев к стадии предварительной разведки нефтяного месторождения. Широкое применение геофизических средств на всех стадиях разведки нефтяных месторождений служит хорошим примером и для разведки других полезных ископаемых. К сожалению, этот опыт пока слабо распространяется.

Группировка месторождений полезных ископаемых по форме и размерам с учетом их изменчивости и применяемые для них системы разведки

В таблице приняты предложенные П. Л. Каллистовым два вида изменчивости: закономерная и случайная. Коэффициент вариации V относится главным образом к качеству полезного ископаемого.

Основные формы тел полезных ископаемых	Вмещающие породы (и условия залегания месторождений)	Виды полезных ископаемых (элементы, минералы или сырье)	Изменчивость месторождений	Ведущие системы разведочных работ	Примечания
1. Пластовые и пластообразные тела обычно крупных размеров	а) Обычно горизонтально залегающие рыхлые, мягкие и сыпучие, большей частью молодые осадочные породы, а также породы коры выветривания	Марганец, железо, никель, кобальт, сера, бокситы, керамическая глина, гипс, соли, бурые угли, магнезит, каолин, многие строительные материалы	Закономерная	Ударно - вращательных скважин	
	б) Преимущественно аллювий и делювий	Россыши различного типа, содержащие золото, платиноиды, алмаз, касситерит, вольфрамит, рутил, ильменит, монацит, циркон, колумбит	Закономерная и случайная $50\% < V < 200\%$	Ударно - вращательных скважин с контрольными шурфами	Крупные размеры обычно имеют только некоторые морские и реке аллювиальные россыши
	в) Древние крепкие осадочные и осадочно - метаморфические различно дислоцированные породы,	Камелные угли и антрациты, углистые сланцы, железные и титановые руды, бок-	Закономерная и случайная	Главным образом вертикальных и наклонных колонковых скважин	Практически сюда же относятся жильные титановые и железные руды
2. Крупные изометрические и вытянутые штокверки, а также крупные залежи неpravильной формы	а также преимущественно полого залегающие свиты карбонатных пород, реже песчаников	ситы, фосфориты, урановые руды, многочисленные строительные материалы, магнезит, барит (иногда с сульфидами), флюорит, свинцово-цинковые и медные руды	Закономерная и случайная	Вертикальных колонковых скважин, иногда ударно-канатных	
	г) Преимущественно полого залегающие эффузивные породы и стратифицированные основные и щелочные массивы	Вкрапленные медноникелевые руды (с платиноидами), апатиты, пласты с ниобием, титаном, цирконием, торием, редкими землями, хромшпинелидами, платиноносные породы			
	а) Малые интрузии разнообразного состава и вмещающие их породы	Титан, медь, молибден, олово, вольфрам, золото, карбонатиты, нефелиновый сиенит	Обычно случайная, редко закономерная, $50\% < V < 90\%$	Вертикальных колонковых и ударно - канатных скважин (с контрольными шурфами)	При разведке штокверков применяется преимущественно ударно-канатное бурение
	б) Поля скарнов и грейзенов, реже серпентинизированные, графитизированные и оталькованные зоны и участки	Железо, медь, свинец, цинк, вольфрам, молибден, олово, литий, бериллий, асбест, графит, тальк	Случайная, $60\% < V < 120\%$	То же	

Основные формы тел полезных ископаемых	Вмещающие породы (и условия залегания месторождений)	Виды полезных ископаемых (элементы, минералы или сырье)	Изменчивость месторождений	Ведущие системы разведочных работ	Примечания
3. Жилообразные и линзообразные тела средних и небольших размеров, а также средние и небольшие жилые зоны	а) Основные и ультраосновные интрузивные и эффузивные породы, значительно реже крепкие осадочные породы	Медно-никелевые руды (обычно с платиноидами), хромшпинелиды, частично свинец, цинк, медь, сера, флюорит, барит, графит, корунд, асбест	Случайная, $V \approx 80\%$	Буровые и горнобуровые с поверхностным бурением	
	б) Разнообразные изверженные и крепкие осадочные породы	Олово, вольфрам, молибден, золото, свинцово-цинковые руды (с Ag, Au, Cd, Bi, Sb, As, In, Ge, Ga и т. д.), пятиэлементная формация (U, Ni, Co, Ag, Bi)	Случайная, $V \approx 130\%$	Горнобуровые с поверхностным и подземным бурением	Разведка обязательно начинается горными работами
	в) Эндо- и экзоконтакты гранитных интрузий и эффузивные породы	Пегматиты с бериллием, литием, танталом, ниобием, цезием, мусковитом, теллуриды золота, флогопит и некоторые другие	Случайная, $V \approx 200\%$	Горнобуровые с подземным бурением и горные	То же
4. Трубообразные выдержанные и ветвящиеся тела небольших, реже средних размеров	а) Ультраосновные и метаморфизованные осадочные породы (выдержанные одиночные трубы)	Мель, мель с золотом, вольфрам, медноникелевые руды (обычно с платиноидами), платиноносные гортонолиты и дуниты	Случайная, V очень высокий	Горные и буровые с подземным бурением	В данной мере скрывать полтора-двух этажей ведется только горными работами
	б) Карбонатные породы, скарны (ветвящиеся трубчатые тела)	Олово, свинцово-цинковые руды (с Ag и многими другими примесями)	То же	То же Обычно сразу ведутся разведочно-эксплуатационные работы	Еще более необходимо начальный период разведки, а иногда всю разведку осуществлять горными работами
5. Мелкие гнезда, линзы, жилки, трубки, погребя, занорыши, расположенные в определенных зонах или беспорядочно	а) Эндо- и экзоконтакты гранитных интрузий (пегматиты), скарны, эффузивные породы, вторичные кварциты, известняки (тела приурочены к ориентированным зонам)	Бериллий, тантал, ниобий, цезий, вольфрам, пьезокварц, islandский шпат, оптический флюорит, наждак, корунд	Случайная, V не может быть вычислен	Горные	
	б) Ультраосновные породы, пегматиты	Платина, драгоценные и оптические минералы	То же	То же	

Таким образом, первое отличие разведки нефтяных и газовых месторождений от разведки месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что здесь в начальный период разведки не ставится задача обязательного обнаружения полезного ископаемого и все усилия направляются на исследование предполагаемой газонефтеносной структуры.

Вторым отличием разведки нефтяных и газовых месторождений является то обстоятельство, что детальная разведка на этих месторождениях сливается в одно непрерывное целое с эксплуатацией.

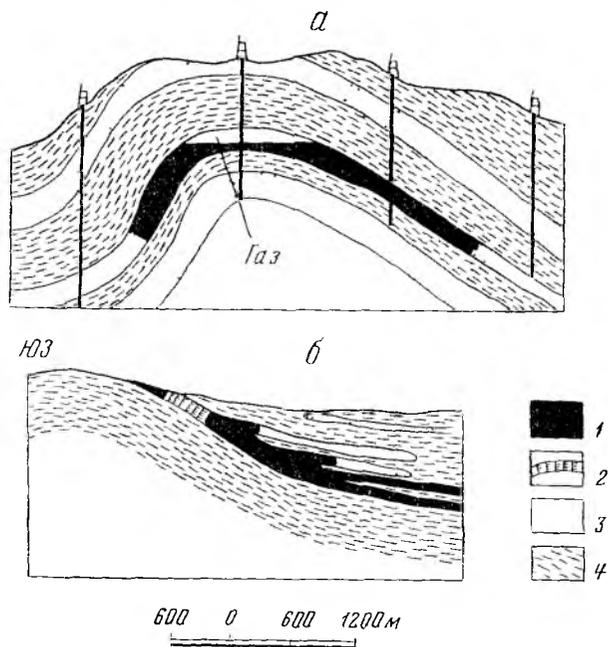


Рис. 77. Схема заложения разведочных скважин с учетом особенностей строения нефтяных месторождений

а — куполообразная структура (по Г. Д. Аджигрею), б — зона уплощения нефтеносного пласта вблизи поверхности земли

1 — нефтеносный песок, 2 — иловые отложения, 3 — водоносный песок, 4 — сланцы и сланцеватые глины

Это происходит потому, что очень часто разведочные скважины, достигшие нефтеносного пласта, становятся эксплуатационными — фонтанируют под напором из недр. Вследствие этого и пункты заложения таких разведочно-эксплуатационных скважин и задачи, разрешаемые ими, определяются спецификой нефтяных и газовых месторождений. Обычно первая скважина закладывается в наиболее высокой части геологической структуры (в куполе или в антиклинальном перегибе) с учетом проявления вулканической (грязевой) деятельности (рис. 77, а). Вблизи выходов нефтеносного горизонта

накладывать скважины в большинстве случаев нецелесообразно из-за наличия зоны истощения в головной части горизонта (рис. 77, б).

Третье отличие разведки нефтяных месторождений выражается в том, что в задачу ее входит не подсчет общих количеств нефти в недрах, а определение того количества нефти (и газа), которое может быть извлечено. Поэтому важно не столько определить объемы нефтеносных пластов, представляющих собой тела, насыщенные жидким или газообразным полезным ископаемым, сколько выяснить возможный или вероятный выход полезного ископаемого из данной группы скважин с определенного участка или со всего месторождения в целом.

Отмеченные особенности разведки нефтяных и газовых месторождений обуславливают и специфику методики их разведки. Правда, в процессе детальной разведки разведочно-эксплуатационные скважины располагаются по профилям, но каких-либо стандартов в отношении плотности разведочной сети наметить не представляется возможным. Расстояния между разведочными линиями колеблются в широких пределах чаще всего от 1 до 3 км. Расстояния между скважинами вдоль разведочной линии, зависящие главным образом от крутизны крыльев нефтеносной структуры, меняются от 200 до 1500 м.

Особенности месторождений нефти и газа предопределяют исключительное применение буровых систем с использованием соответствующих технических средств разведки — геофизических работ и роторного бурения, в последнее время все более уступающего место турбинному бурению.

Многое из сказанного об условиях разведки месторождений нефти и газа можно отнести и к разведке воды, особенно, когда речь идет о глубоких артезианских водах. Но и разведка близповерхностных вод, так или иначе связанных с поверхностными водными потоками или открытыми бассейнами, характеризуется теми же тремя особенностями, что и разведка газонефтеносных участков. Разумеется, для разведки неглубоко залегающих водоносных горизонтов применяются гораздо более простые технические средства и не только буровые; иногда разведка ограничивается проходкой шурфов (колодцев).

4. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

По степени сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, определяющих характер и объем исследований, месторождения делятся на три группы:

- 1) месторождения с простыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями;
- 2) месторождения со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями;

3) месторождения с очень сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями.

Основными критериями для такой группировки месторождений служат: литологическая, геоморфологическая и тектоническая характеристики месторождения и прилегающего района, условия питания водоносных горизонтов, гидростатические давления, водообильность. В классификации месторождений по сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, предложенной в 1958 г. С. П. Прохоровым и Е. Г. Качугиным, учитываются также наличие или отсутствие многолетней мерзлоты и характер эксплуатационных работ (открытые или подземные разработки).

В соответствии с детальностью изучения месторождения на каждой стадии разведки наряду с определенной достоверностью подсчитываемых запасов полезного ископаемого требуется более или менее подробное и точное освещение гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей месторождения.

Выполнение необходимых требований, особенно в случае сложной гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, связано со значительными и порой громоздкими полевыми и лабораторными работами.

Гидрогеологические наблюдения при разведке ведутся в буровых скважинах и горных выработках — не только в специально заложенных для гидрогеологических целей, но, по возможности, во всех разведочных выработках. В процессе бурения скважин отмечают: уровни водоносных горизонтов, поглощение промывочной жидкости, самоизливание воды из скважины, температура воды, провалы бурового инструмента, выход газов.

Главными приемами гидрогеологических изысканий на месторождениях полезных ископаемых являются откачки и нагнетания воды, проводимые с целью выяснения водообильности горных пород, и химические анализы подземных вод.

С целью изучения качества воды производится химический анализ проб воды, отобранных в скважинах или горных выработках. Количество проб зависит от детальности исследований и от сложности гидрохимического режима.

Инженерно-геологические исследования в процессе разведки проводятся с целью выяснения горнотехнических условий будущей эксплуатации месторождения. Кроме гидрогеологических исследований, позволяющих определить важнейшее горнотехническое условие эксплуатации — обводненность месторождения, — необходимо знать, с какими особенностями вмещающих горных пород и самого полезного ископаемого придется столкнуться при проходке разведочных и подготовительных горных выработок в процессе отработки месторождения.

Наиболее существенное значение из физико-механических свойств горных пород и полезного ископаемого имеют их крепость и устойчивость в горных выработках.

5. ДОКУМЕНТАЦИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Документация разведочных выработок представляет собой фиксацию наблюдений в процессе разведки месторождения. Первым и главным условием документирования является возможно более точное отображение фактов путем описания, зарисовок, фотографии. Выполнимые при этом измерения должны быть достаточно точны, а описания и зарисовки объективны и своевременны.

Кроме рисунков, чертежей, фотографий и описаний, большое значение имеют вещественные документы: образцы полезного ископаемого и вмещающих горных пород, а также пробы руд.

В зависимости от вида наблюдений, выполняемых в процессе геологоразведочных работ, выделяется и несколько видов документации:

1) геологическая документация, имеющая целью отображение геологических условий залегания, формы и внутреннего строения тела полезного ископаемого;

2) документация опробования;

3) геофизическая документация;

4) гидрогеологическая документация;

5) инженерно-геологическая документация.

Кроме того, документация подразделяется на первичную и сводную. Первичная документация является исходным материалом, отображающим непосредственно наблюдаемые в разведочных выработках явления. Сводная документация составляется на основе первичной с большим или меньшим использованием интерполяции и экстраполяции. Следовательно, сводная документация включает уже некоторый элемент гипотетичности и потому, во-первых, менее достоверна по сравнению с первичной, а во-вторых, нередко бывает многовариантна по причинам, отчасти отмеченным выше при рассмотрении относительной точности геологоразведочных разрезов.

Основными объектами наблюдений в процессе проходки разведочных выработок являются:

1) геологические условия залегания тела полезного ископаемого;

2) размеры и элементы залегания вскрытых разведочной выработкой участков тела полезного ископаемого и вмещающих его горных пород. Связь формы тел с элементами деформационной структуры. Типы трещин и складок во вмещающих породах;

3) характер контактов между залежью и вмещающими горными породами, а также между различными типами полезного ископаемого внутри залежи;

4) вещественный состав полезного ископаемого и распределение полезных минералов (и их комплексов, агрегатов) в пространстве, т. е. текстуры руд;

5) изменения вмещающих пород вблизи тела полезного ископаемого;

6) тектонические и иные нарушения, особенно те, с которыми связано какое-либо смещение тела полезного ископаемого. Они требуют особых пояснений.

Тектонические нарушения изучаются с точки зрения их генетических особенностей и морфологических отношений с телом полезного ископаемого. Прежде всего необходимо различать нарушения доминерализационные (дорудные), внутриминерализационные (внутрирудные) и постминерализационные (послерудные). Первые обычно играют ведущую роль; вторые помогают установить продуктивную стадию оруденения; последние иногда очень важны, поскольку с ними могут быть связаны различного рода смещения тела полезного ископаемого вместе с блоком вмещающих пород, существенно влияющие на направление разведочных работ.

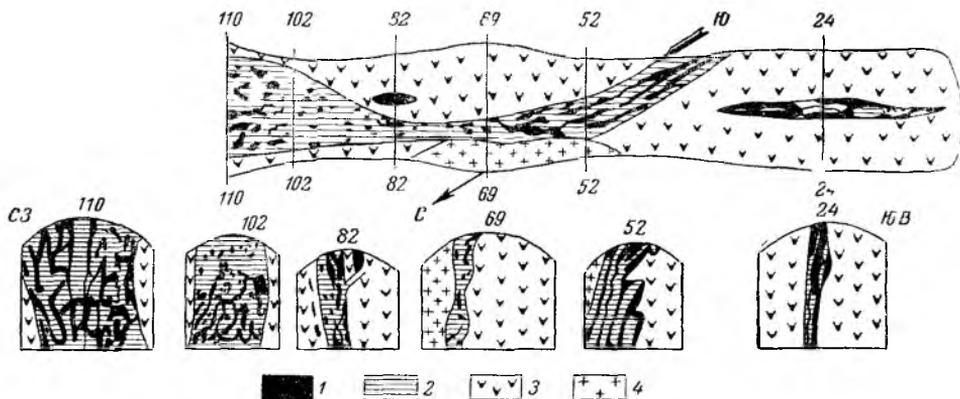


Рис. 78. Пример документации штольни при крутом падении тела полезного ископаемого (по Г. Д. Ажгирею)

1 — цинковая обманка, 2 — галенит, 3 — амизильный кератофир, 4 — гранит

Основными элементами документации горных выработок являются зарисовки с натуры и весьма краткие описания, сопровождаемые отбором необходимых образцов полезного ископаемого и вмещающих пород. Часто одновременно с геологической документацией проводится опробование полезного ископаемого.

Канавы зарисовываются по одной стенке и дну.

В шурфах обычно зарисовываются две взаимно перпендикулярные стенки (по простиранию и по падению), а иногда даже одна стенка.

Дудки должны документироваться в виде разреза, ориентированного в направлении максимальной изменчивости тела полезного ископаемого или вмещающих пород.

Подземные горные выработки по приемам документации следует подразделить на две группы:

1) выработки, пересекающие тело полезного ископаемого (квершлагги, орты);

2) выработки, проходимые по простиранию тела полезного ископаемого (штреки, штольни).

Первые в большинстве случаев документируются по одной стенке, но для составления погоризонтных планов нужно зарисовывать и кровлю. При наличии сложных структурно-морфологических элементов тела полезного ископаемого приходится, кроме того, зарисовывать некоторые важные участки отдельно.

При документировании выработок, проводимых по простиранию крутопадающего тела полезного ископаемого, главными объектами описаний и зарисовок являются кровля и забой (рис. 78). При пологопадающем теле — стенка и забой.

Подземные вертикальные и наклонные горные выработки, проходимые по падению тела полезного ископаемого (восстающие, гезенки), документируются по стенкам. В большинстве случаев бывает достаточно зарисовать одну стенку (рис. 79), предпочтительно ту, по которой производится опробование (ориентированную вкrest простирания); и только при очень сложной форме тела полезного ископаемого возникает необходимость, как исключение, зарисовывать две противоположные стенки. Иногда бывает целесообразно вести опробование вертикальных или наклонных выработок по забоям подобно опробованию штолен и штреков: в таких случаях зарисовываются и забой этих выработок.

Необходимо помнить, что все зарисовки и образцы должны быть точно привязаны к определенным маркшейдерским пунктам, взаимно увязаны и ориентированы по странам света. В противном случае вся эта кропотливая работа теряет смысл. На зарисовках должны быть отмечены пункты взятия образцов и проб.

Описания массовых и сплошных зарисовок должны быть предельно краткими и характеризовать те черты обнажения, которые не поддаются зарисовке.

Геологическая документация разведочных скважин осуществляется путем систематического ведения сменного

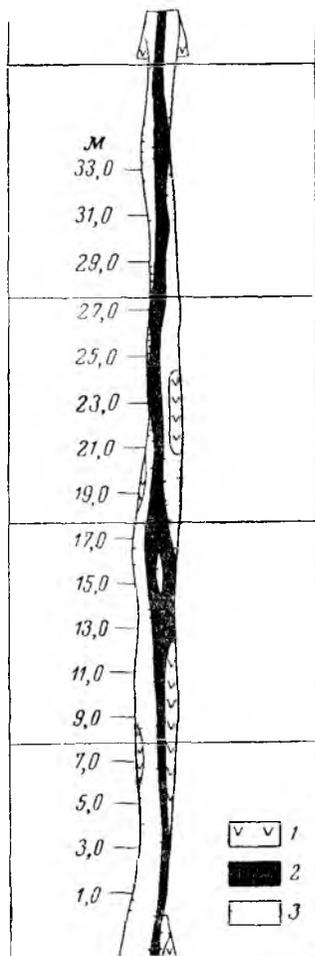


Рис. 79. Пример документации восстающего (по В. И. Смирнову)

1 — диориты, 2 — сульфидная руда сплошная, 3 — сульфидная руда вкрапленная

бурового журнала, регистрации материала, добываемого из скважин и построения геологического разреза по оси скважины (колонки).

Размеры по буровым скважинам в зависимости от вида бурения составляются по-разному. Наиболее сложный вид обычно имеет разрез по скважине колонкового бурения. На этом разрезе указы-

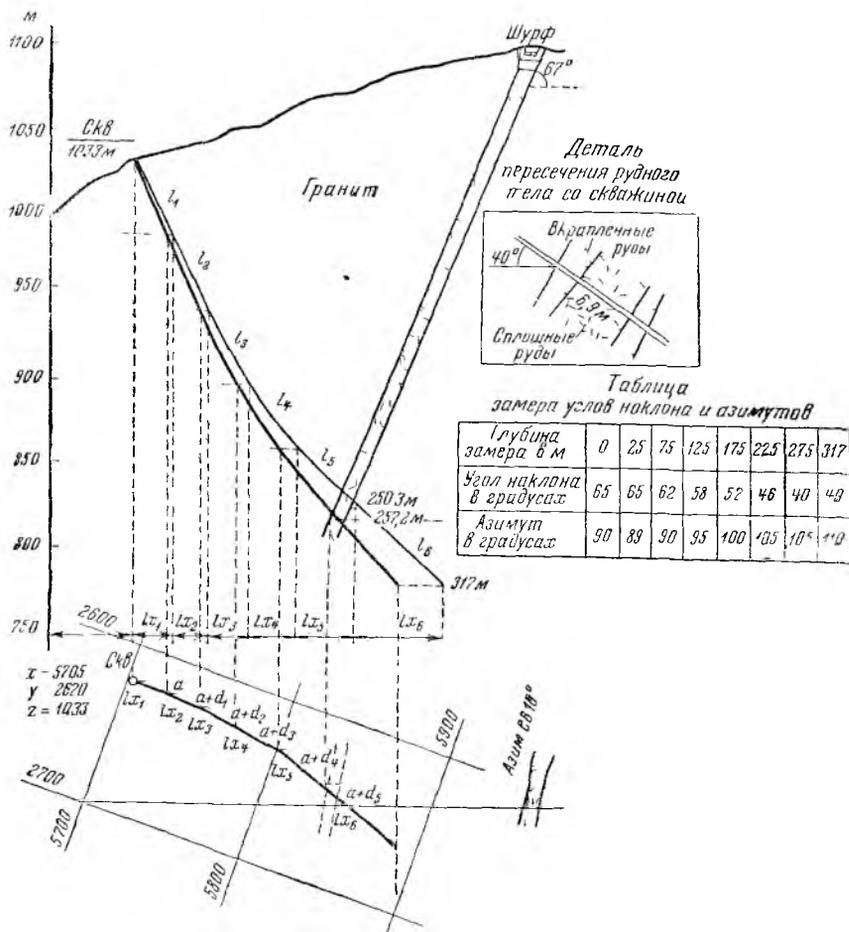


Рис. 80. Построение разреза скважины по данным измерений зенитных и азимутальных искривлений

ваются номер и координаты скважины, отображается ее конструкция, отмечаются границы каждого рейса бурового снаряда и соответствующий каждому рейсу выход керна; устанавливаются контакты тела полезного ископаемого и различных пород, вскрытых скважинами, указываются интервалы опробования и результаты химических анализов проб. Если производились замеры искривления, каротаж и гидрогеологические наблюдения, то результаты этих исследований также отображаются на чертеже буровой колонки.

Для построения разреза по искривленной скважине исходят из предположения, что угол наклона, замеренный в точке n , сохраняется до половины расстояния между ней и соседними точками $n - 1$ и $n + 1$. Построение производится следующим образом (рис. 80). Через определенные интервалы глубины l_1, l_2, \dots, l_n замеряются азимуты и углы наклона скважины. По замеренным углам наклона строится профиль скважины в вертикальной плоскости. Затем точки, в которых замерялись углы наклона, проектируются на горизонтальную линию; на ней, таким образом, отсекаются проекции интервалов скважины длиной $l_{x1}, l_{x2}, \dots, l_{xn}$. По этим проекциям строится новая линия с учетом азимутных искривлений. Полученная горизонтальная проекция скважины проектируется на вертикальный профиль. Точки пересечения вертикальных и горизонтальных проекций пунктов замеров укажут действительное положение скважины в данном разрезе.

Документация разведочных скважин в зависимости от их размеров и сложности геологического строения месторождения проводится в масштабах 1 : 100—1 : 500.

Основные виды сводной геологической документации. Разнообразные сведения, полученные по всем разведочным выработкам, должны быть увязаны между собой и с геологической картой. Это позволяет построить полноценные разведочные разрезы, характеризующие геологическое строение и горнотехнические условия эксплуатации месторождения, и подсчитать запасы полезного ископаемого. В процессе такой увязки производится корректировка ранее составленной геологической карты, а также построенных по данным разведки разрезов и погоризонтных геологических планов. При этом приходится много раз обращаться к данным первичной документации, а в некоторых случаях проводить дополнительные наблюдения в разведочных выработках и на поверхности. Существенную помощь при этом оказывают геофизические методы и прежде всего каротаж буровых скважин.

К числу основных условий, без которых невозможна надежная увязка данных различных разведочных выработок и геологической карты месторождения, относятся:

1) достаточно точные топографическая и маркшейдерская съемки; при этом топографические планшеты и маркшейдерские построения должны быть приведены к единой системе координат;

2) определения кривизны глубоких (свыше 150 м) разведочных скважин — как зенитной, так и азимутальной;

3) единая легенда для всех участков разведываемого месторождения, по возможности иллюстрируемая эталонной коллекцией горных пород и типов полезного ископаемого;

4) одинаковые или по крайней мере близкие кратные масштабы зарисовок, буровых колонок и других графических построений;

5) рациональная нумерация выработок, образцов и проб.

Все элементы геологоразведочных исследований должны иметь строгую нумерацию, причем надо отдельно нумеровать: разведочные

выработки, образцы, пробы, различные анализы, геофизические измерения, гидрогеологические наблюдения.

При разведке каждого месторождения вырабатывается своя легенда. Последняя, однако, должна создаваться с учетом общегеологических обозначений литологических разностей (известняки, песчаники, гранитоиды и т. д.) и возраста горных пород.

Легенда должна составляться в двух вариантах: красочном и штриховом, для чертежей различного вида и назначения. Следует всемерно стремиться не менять однажды принятого обозначения в легенде, но в то же время надо учитывать неизбежность пополнения легенды с повышением изученности месторождения.

В результате увязки данных, полученных по отдельным разведочным выработкам и при геологической съемке поверхности месторождения, создается сводная документация, которая, не считая отчетного материала, включает: 1) карты; 2) разрезы; 3) проекции; 4) блок-диаграммы; 5) модели.

Все сводные разведочные чертежи и объемные изображения строятся в определенных масштабах и в установленной системе координат. Обычно масштабы сводной геологической документации колеблются в пределах $1 : 200$ — $1 : 2000$. Изредка, в случае очень крупных и простых месторождений, масштаб сводной документации уменьшается до $1 : 5000$ и, наоборот, весьма мелкие и сложные месторождения или отдельные участки могут потребовать масштаба $1 : 100$. Критерием для выбора масштаба служит наиболее удобный формат разведочного чертежа, равный примерно 60×100 см.

Геологические карты поверхности в процессе создания сводной документации при разведке составляются в масштабах $1 : 2000$, $1 : 1000$ и $1 : 500$ в зависимости от сложности геологической обстановки месторождения.

При поисково-разведочных работах создается геологическая карта в масштабах $1 : 10\,000$ и $1 : 5000$ (редко $1 : 25\,000$ и $1 : 2000$), на основании которой направляется предварительная разведка. Все данные, получаемые в стадии предварительной разведки, сразу же наносятся на топографическую карту масштаба $1 : 2000$ — $1 : 1000$, значительно реже — $1 : 500$; последняя даже не может быть составлена без использования точных разведочных материалов. Если в масштабах $1 : 10\,000$ — $1 : 5000$ можно отразить геологию рудного поля, то в масштабах $1 : 2000$ — $1 : 500$ можно изображать только геологию разведываемого месторождения или тела.

Разрезы, после геологической карты, служат основным способом изображения форм и внутреннего строения месторождения. Они обычно бывают горизонтальными или вертикальными.

Сводные чертежи обычно строятся в соответствии с принятым методом разведки месторождения или в виде погоризонтных планов (горизонтальные сечения), или в виде вертикальных разрезов вкрест простирания месторождения. В случае изометрических форм месторождения вертикальные разрезы иногда составляются в различных направлениях и прежде всего по двум взаимно перпендикулярным

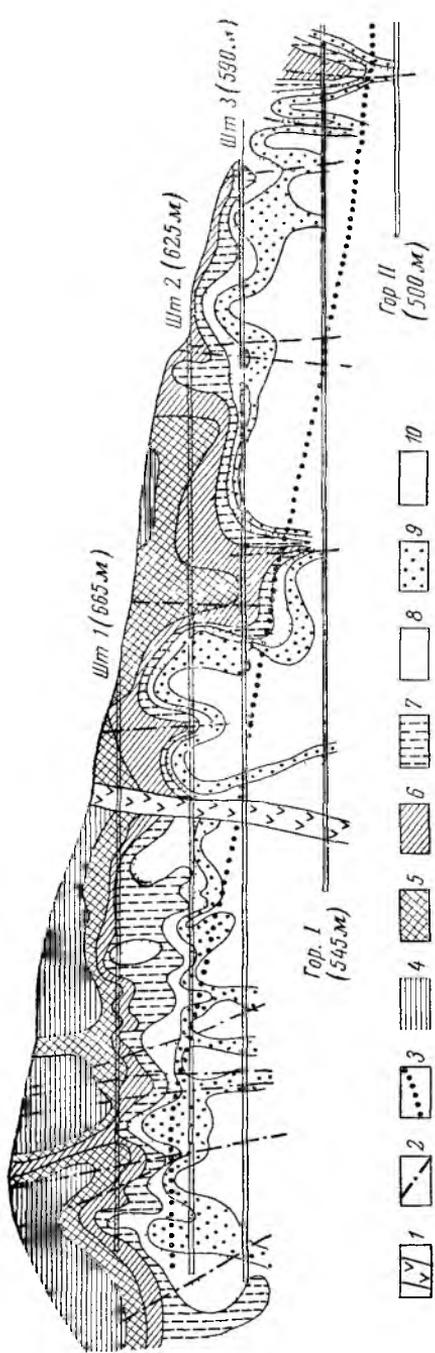


Рис. 81. Продольный разведочный разрез одной из жил молибденового месторождения (по А. В. Дружинину)

1 — дайны кварцевого микрогаббро, 2 — тектонические нарушения, 3 — гранула многолетней мерзлоты. Степень окисления молибденита (в %): 4 — свыше 50; 5 — от 50 до 30; 6 — от 30 до 20; 7 — от 20 до 15; 8 — от 15 до 10; 9 — от 10 до 5, 10 — менее 5

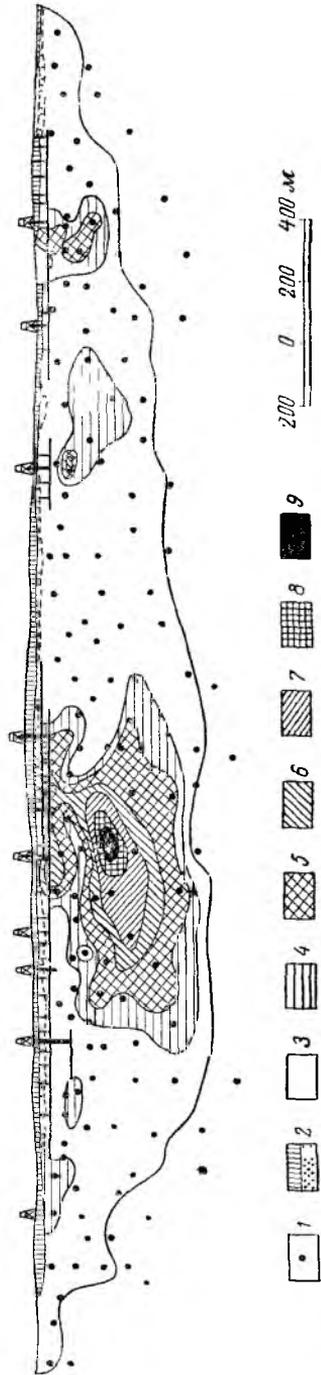


Рис. 82. Проекция извилиной мощности рудного тела

1 — точки пересечения рудной зоны разведочными скважинами, 2 — железная шлина и сыпучка. Горизонтальная мощность колчедана (в м): 3 — от 0 до 10; 4 — от 10 до 20; 5 — от 20 до 30; 6 — от 30 до 40; 7 — от 40 до 50; 8 — от 50 до 60; 9 — больше 60

направлениям. При разведке крутопадающих плоских тел полезного ископаемого (пластов, жил, линз) иногда строятся продольные разрезы в плоскости падения тела. Однако чаще применяются подобные изображения месторождений по простиранию в виде проекции на вертикальную плоскость.

Погоризонтные планы составляются преимущественно по горным выработкам, пересекающим тела полезного ископаемого на некотором

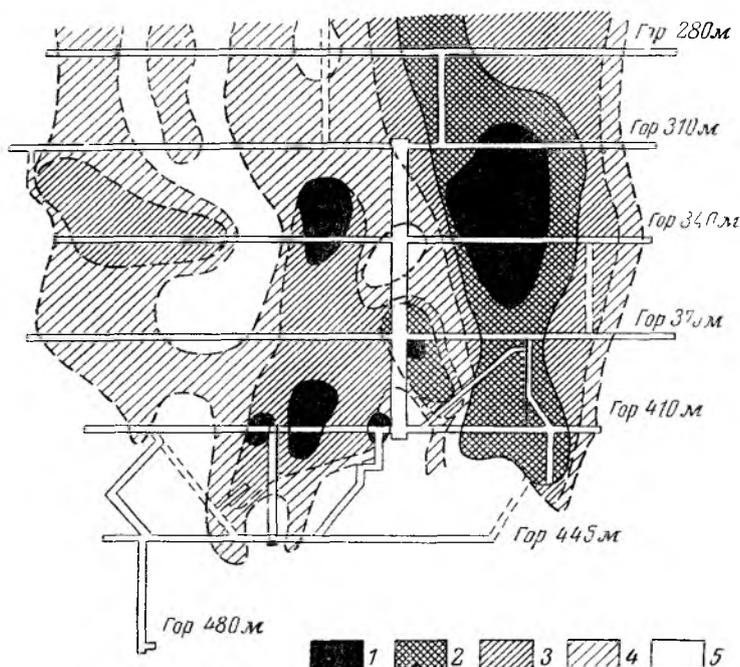


Рис. 83 Проекция изолиний содержания металла на осевую плоскость рудного тела

Содержание металла (в $\text{кг}/\text{м}^2$) 1 — от 20 до 8 2 — от 8 до 4 — от 4 до 2, 4 — от 2 до 1, 5 — от 1 до 0

горизонте. Густая сеть достоверных наблюдений дает возможность составлять погоризонтные планы с высокой степенью детальности. Поэтому процесс составления погоризонтных планов на основе документации горных разведочных выработок получил условное название «подземного геологического картирования»

Вертикальные разрезы составляются вдоль разведочных линий в тех же масштабах, что и погоризонтные планы.

Продольные разведочные разрезы (рис 81) составляются обычно при крутом падении плоских тел полезного ископаемого в плоскости среднего простирания и падения тела. Такого рода сводные чертежи

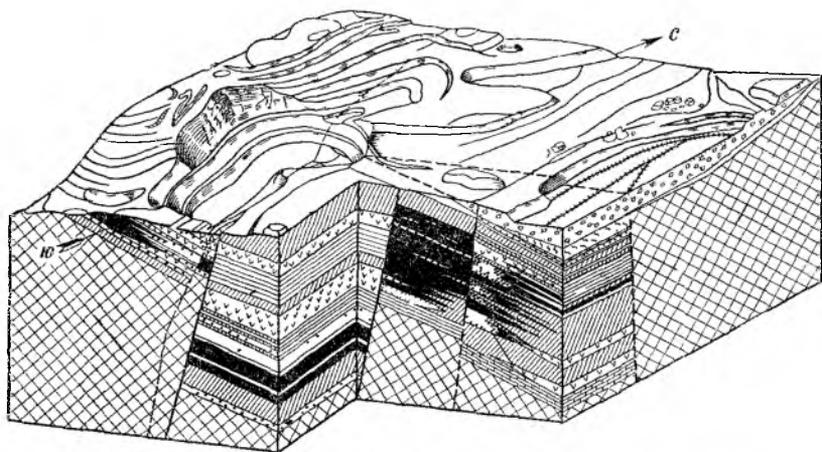


Рис. 84. Изометрическая блок-диаграмма с боковым срезом

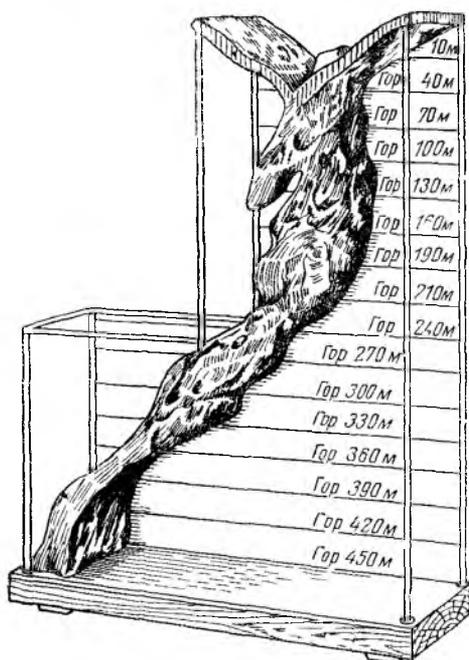


Рис. 85. Рельефная скульптурная модель рудного тела

удобны для залежей, отличающихся значительной изменчивостью форм и качества полезного ископаемого по простиранию и падению.

Проекция могут быть простыми и сложными. На первых, по данным спроектированных на некоторую плоскость выработок, обрисовываются лишь контуры тел полезного ископаемого, вторые представляют собой какую-либо систему изолиний в контурах тела полезного ископаемого: изолинии мощности, изолинии содержания полезных компонентов, изолинии, характеризующие поверхность тела полезного ископаемого, и т. п.

Проекция в изолиниях мощности по существу представляют собой серию совмещенных параллельных разрезов тела полезного

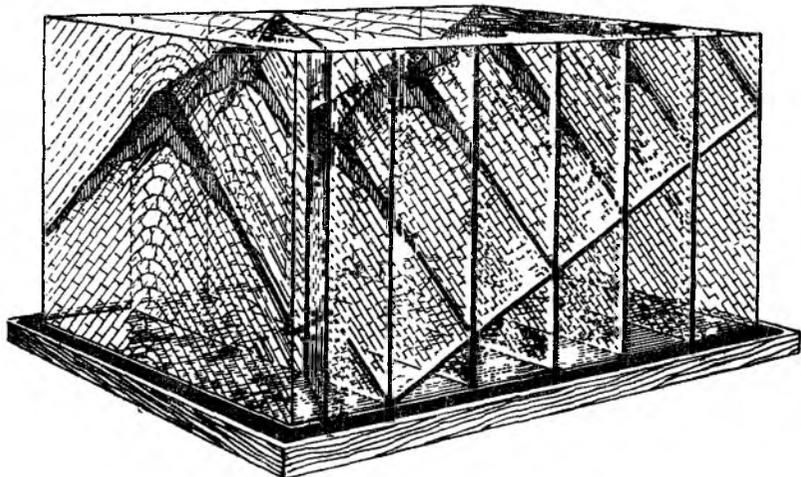


Рис. 86. Прозрачная модель месторождения

ископаемого в плоскости его падения, спроектированных на какую-либо плоскость (рис. 82). Такие проекции чаще всего применяются для характеристики тел полезного ископаемого со сравнительно равномерным распределением полезного компонента и несложным внутренним строением. Иногда они вычерчиваются в комбинации с продольным разрезом.

Проекция в изолиниях качества удобны для изображения характера распределения полезного ископаемого по качеству, сортам и природным типам. Они дают, например, наглядное представление о местоположении рудных столбов (рис. 83).

Блок-диаграммы строятся обычно на основании горизонтальных и вертикальных разрезов и дают наглядное пространственное представление о месторождениях в целом. Среди них можно указать две существенные разновидности: 1) блок-диаграммы изометрические, построенные по правилам аксонометрии или диметрии (рис. 84), и 2) блок-диаграммы перспективные.

Наилучшее изображение месторождения дают модели, но изготовление их обходится дорого, и, кроме того, они громоздки по сравнению с графическим материалом. Поэтому модели можно встретить только на крупных действующих горных предприятиях. Среди моделей различаются рельефные, отображающие форму всего месторождения или отдельных его частей и тел полезного ископаемого (рис. 85), и прозрачные, изготовленные из набора стеклянных или иных прозрачных пластин, на которых показываются параллельные сечения месторождения (рис. 86). Такая серия просвечивающих разрезов месторождения позволяет наиболее полно описать и его внутреннее строение.

ОПРОБОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Опробование месторождений и искусственных скоплений (например, отвалов) полезных ископаемых в процессе поисков и разведки производится с целью установления их качества применительно к требованиям, предъявляемым промышленностью к тому или иному виду минерального сырья. Данные разведочного опробования используются для подсчета промышленных запасов месторождения, кроме того, они определяют выбор способа и схемы переработки полезного ископаемого и позволяют решать некоторые вопросы технического проектирования и текущего планирования добычи.

Процесс опробования твердых полезных ископаемых обычно состоит из трех основных звеньев: 1) отбора (взятия) начальных проб, осуществляемого с таким расчетом, чтобы качество минерального сырья было охарактеризовано с необходимой точностью; 2) обработки проб, заключающейся в доведении веса каждой начальной пробы или группы проб до величины, необходимой для соответствующих исследований, и 3) испытания (исследования, анализ) проб.

Характер испытаний проб зависит от требований, предъявляемых к сырью промышленностью, и от степени изученности его с точки зрения переработки. В одних условиях необходимо производить полные испытания сырья вплоть до опытной обработки и переработки (технологические испытания), в других — можно ограничиться исследованием некоторых его свойств, например определенным содержанием одного или нескольких компонентов, интересных с промышленной точки зрения.

Все эти испытания либо выходят за пределы функций инженера-геолога, либо рассматриваются в других специальных курсах. Поэтому здесь внимание сосредоточивается в основном на вопросах отбора и обработки проб.

В последнее время понятие о пробах и опробовании расширяется, так как появляются новые способы (радиометрия, люминесценция, гамма-гамма-каротаж), позволяющие на месте залегания полезного ископаемого определять его качество, используя различные физические свойства минералов. Таким образом, опробование, выявляющее состав и свойства ископаемого, понимается здесь в широком смысле как метод, устанавливающий качество минерального сырья.

2. ОТБОР ПРОБ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Все разновидности способов взятия проб проще рассматривать, если подразделить их на три группы: точечные, линейные и объемные. К первой группе относятся способы: штупфной, точечный и вычерпывания. Во вторую группу входят борзодовый и шпуровой и, наконец, к третьей группе принадлежат задржковый и валовой способы.

На стадиях поисково-разведочных работ и предварительной разведки месторождений полезных ископаемых, при относительно небольшом числе отбираемых проб, применение трудоемких способов отбора не вызывает большого перерасхода времени и средств. Кроме того, в начальный период изучения месторождения часто требуется детальное, секционное опробование, которое надежнее всего может быть осуществлено борзодовым способом.

Все это обычно заставляет в начале разведочных работ останавливаться на борзодовом опробовании. Этот способ применяется и при детальной разведке, а также при эксплуатации, если другие способы не обеспечивают получения надежных результатов.

Ш т у ф ф н о й — простейший способ отбора проб, он состоит в отбойке отдельных кусков породы весом 0,5—2,0 кг. Этот прием употребляется очень редко: для установления качества простейших полезных ископаемых или для получения хотя бы приблизительной его характеристики, если по каким-либо причинам нужно иметь сугубо ориентировочное представление об элементарном составе минерального сырья, например, в период поисков или поисково-разведочных работ. Обычно штупфное опробование проводится для минераграфического изучения руд.

Сущность **т о ч е ч н о г о** способа заключается в следующем: в забое или в стенке выработки по рудному телу намечается сетка * (рис. 87); из середины клежок сетки или по углам их отбиваются кусочки (частичные пробы) руды, примерно равного объема, которые вместе составляют начальную пробу.

Число частичных проб, составляющих начальную пробу отдельного забоя, зависит от степени неравномерности распределения полезных компонентов и может быть ориентировочно установлено с помощью данных табл. 23. Но веса частичных проб бывают примерно в два раза меньше, чем указано в таблице.

Точечный способ опробования может применяться для мощных и средней мощности тел полезного ископаемого с относительно равномерным распределением полезных компонентов, например для медно-колчеданных руд.

Взятие проб способом **в ы ч е р п ы в а н и я** производится после отпалки руды в навале у забоя. Для этого на навал набрасывается веревочная сетка (или сетка наносится мысленно) и из середины ее ячеек отбираются частичные пробы определенного веса, составляющие начальную пробу данного навала.

* Своеобразное отражение принципа равномерности

При отборе проб способом вычерпывания необходимо обращать внимание на то, чтобы соотношение между крупным рудным материалом и мелочью, поступающей в пробу, соответствовало их соотношению в опробуемых навалах.

Преимущество рассматриваемого способа взятия проб заключается в его высокой производительности, в три-пять раз и более превышающей производительность опробования с отбойкой материала пробы в тех же условиях. Кроме того, отбор проб способом вычерпывания не задерживает проходку выработок. Количество частичных проб и вес каждой из них указаны в табл. 23.

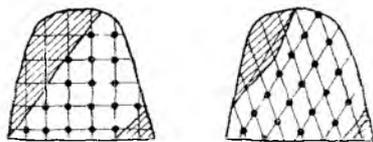


Рис. 87. Схемы отбора проб точечным способом

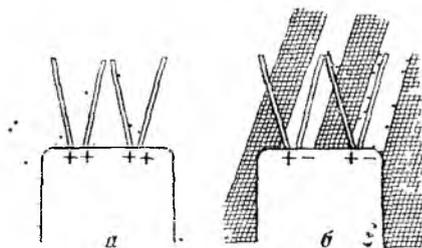


Рис. 88. Порядок отбора материала при шпуровом способе опробования

a — полный сбор материала при бурении по равномерно минерализованному рудному телу, *б* — выборочный сбор материала при бурении по полосчатому рудному телу. В пробу отбирается материал из шпуров, обозначенных знаком +

Рассматриваемый способ отбора проб может широко применяться при опробовании мощных и весьма мощных тел рудных и нерудных полезных ископаемых.

Сущность взятия пробы шпуровым способом состоит в отборе буровой муки или шлама в процессе бурения шпуров (рис. 88). При этом используются шпуры, пробуриваемые для про-

Таблица 23

Количество и веса проб, отбираемых способом вычерпывания в горных выработках

Характер оруденения	Число частичных проб на навал за одну отпалку в горизонтальных горных выработках	Вес одной частичной пробы в кг	Суммарный вес пробы из данного навала в кг
Весьма равномерный и равномерный	12—16	0,12	1,5—2
Неравномерный	20—25	0,25	5—6
Весьма неравномерный и крайне неравномерный	36—50	0,5	18—25

лодки выработок, или же задаются специальные шпурь вкрьст простирания рудного тела, позволяющие вести опробование для оконтуривания рудных тел.

Для оконтуривания и опробования мощных рудных тел применяются специальные колонковь перфораторь, которыми удавалось бурить скважинь глубиной 50—70 м.

При бурении специальных шпуров в разведочных, подготовительных и очистных выработках общая проба делится на несколько частей — проб. Длина каждой такой части принимается постоянной, равной 1—2 м, редко 3 м (при весьма большой мощности рудных тел). В тех случаях, когда граница рудных тел с вмещающими породами неотчетливая и не может быть уловлена, например по стуку бура или по цвету шлама, длина этих частей может быть уменьшена даже до 0,5 м. Вообще говоря, выделение гипов руд по данным шпурового опробования затруднительно.

Шпуровой способ опробования по сравнению с другими способами имеет ряд преимуществ:

1) процесс бурения шпуров, заданных в целях продвижения забоев, часто совмещается с процессом пробоотбора;

2) проходка забоя не задерживается процессом взятия пробы;

3) обработка материала проб сводится к минимуму, так как диаметр наибольших частиц шпуровых проб обычно не превышает 2 мм.

Систематические ошибки при шпуровом опробовании возможны при наличии мягких и легко крошащихся рудных минералов. В этих случаях содрание бура может вызвать осыпание со стенок скважины богатого (или убогого) рудного материала. Сильно трещиноватые руды могут обусловить большие потери пыли или шлама. Во всех случаях предварительную проверку шпурового способа каким-либо другим, заведомо надежным для данных условий, следует считать обязательной.

Б о р о з д о в ы й с п о с о б состоит в проведении на обнаженной поверхности рудного тела борозды, форма и размеры которой зависят от мощности тела и характера распределения в нем полезных компонентов и вредных примесей. Форма и размеры сечения борозды сохраняются неизменными на всем ее протяжении.

Во всех горных выработках, при прочих равных условиях, борозды необходимо располагать по направлению наибольшей изменчивости содержания исследуемых компонентов в рудных телах. Это направление обычно совпадает с линией мощности, поэтому во многих учебных руководствах и журнальных статьях рекомендуется проводить борозду по мощности. Однако невозможность во многих случаях определить линию истинной мощности тела в горной выработке из-за косоо сечения рудного тела или расплывчатых контактов делает такие рекомендации неосуществимыми и часто приводит к бессистемной ориентировке борозд.

Значительно удобнее в подавляющем большинстве случаев применять горизонтальные и вертикальные борозды (рис. 89). Первые

применимы к телам полезных ископаемых, падающим под углом $90-45^\circ$, а вторые — к телам с углом падения $45-0^\circ$.

В штреках борозды необходимо проводить в передовых забоях. В случае невозможности опробования передовых забоев (например, в связи с форсированной проходкой) допускается проведение борозд

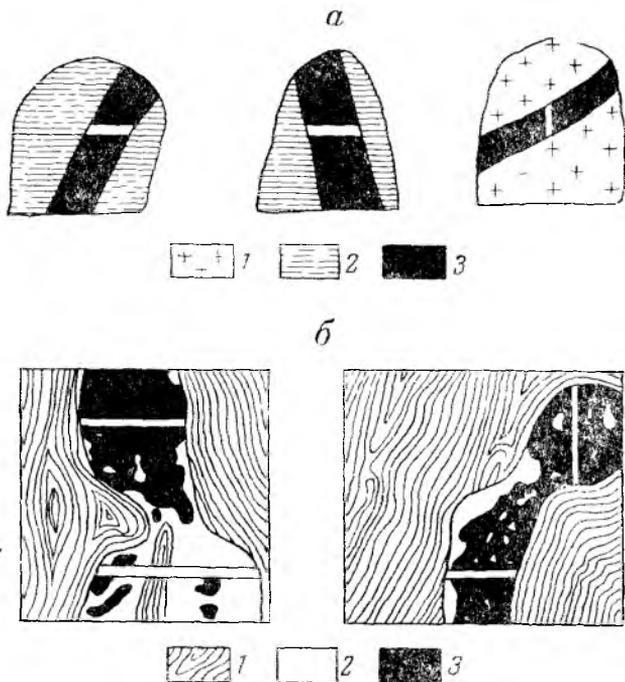


Рис. 89. Расположение борозд в забоях горизонтальных выработок

a — Алайское мышьяковое месторождение: 1 — монцитит, 2 — роговик, 3 — сульфидная руда; *б* — Раздольнинское сурьмяное месторождение: 1 — филлиты, 2 — кварц, 3 — антимонит и бертьерит

по кровле или стенке штрека, что, однако, по ряду причин является менее рациональным.

В ортах и квершлагах борозды располагаются по стенкам. При этом может опробоваться одна стенка или обе. В последнем случае две противоположные борозды объединяются в одну пробу.

В выработках, пройденных по падению (и восстанию) рудных тел, борозды располагаются по стенкам горизонтально при крутом падении рудных тел и вертикально — при пологом.

В канавах борозды располагаются по линии мощности; они могут проводиться по стенкам или дну канавы.

Опробование вмещающих пород (там, где оно необходимо) должно быть в обязательном порядке, если геологическая документация и резуль-

титы достаточного числа взятых вначале специальных проб указывают на постоянное, но непромышленное содержание в них исследуемых компонентов.

Систематическое опробование шурфов, пересекающих тела полезных ископаемых с неравномерным и весьма неравномерным распределением полезных компонентов, рационально производить двумя бороздами по двум противоположным стенкам.

На месторождениях, содержащих руды с полосчатой, слоистой и некоторыми другими текстурами, иногда требуется охарактеризовать каждую полосу (слой, прослоек) или смежную группу их отдельно. Для этого борозда разбивается на секции, число которых

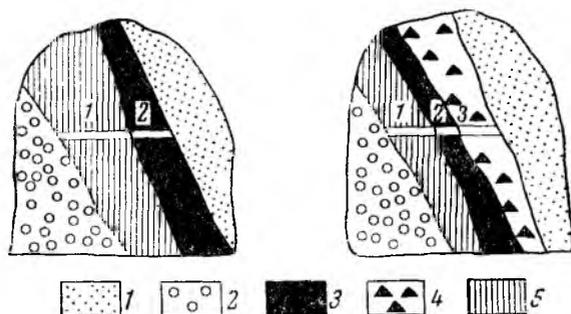


Рис. 90. Секционное опробование на месторождении Ni-Co-руд

1 — песчанки, 2 — полиминеральные скарны, 3 — сплошные сульфидные Ni-Co-руды, 4 — брекчированные руды, 5 — карбонатная метасоматическая порода с вкрапленностью и прожилками сульфидов

соответствует количеству подлежащих исследованию разновидностей руд, выделяемых при осмотре опробуемой поверхности.

Секционное опробование (рис. 90) освещает характер изменения содержания промышленно ценных и других компонентов, что в свою очередь позволяет выяснить условия их накопления, а также решить вопрос о возможности селективной эксплуатации.

Производство систематического секционного опробования целесообразно только в тех случаях, когда селективная выемка частей рудного тела, освещаемых отдельными секциями, представляется технически осуществимой и рациональной с технологической и экономической точек зрения.

В выработках, вскрывающих мощные вкрапленные рудные тела, во всех условиях производится опробование путем деления длины всей борозды на серию меньших. При этом, если руда имеет однородное строение, то длины борозд принимаются равными от 1 до 3 м. Нижний предел — 1 м (редко 0,5 м) — обычно принимают в случае неравномерного оруденения и неясных границ оруденения. Граница промышленного оруденения в подобных месторождениях является условной и устанавливается в выработках лишь опробованием.

Наиболее распространенной формой сечения борозд является прямоугольная, в которой ширина больше глубины. Применяются также борозды треугольной формы, которые, однако, в практике сколько-нибудь значительного распространения не имеют.

На многих уральских медноколчеданных месторождениях широким распространением пользуются так называемые «пунктирные» борозды. Это борозды весьма неправильного сечения, отбиваемые по линии наибольшей изменчивости оруденения не сплошь, а с некоторыми перерывами. К этому же типу относятся «линейные» пробы, представляющие собой непрерывные борозды значительно меньшего, чем обычно, и невыдержанного поперечного сечения. Опыт показывает, что такое опробование дает в указанных условиях удовлетворительные результаты: но нельзя рекомендовать применение таких борозд без тщательной проверки их нормальными бороздами.

Рекомендуемые поперечные сечения прямоугольных борозд в зависимости от степени неравномерности оруденения и мощности рудных тел приведены в табл. 24.

Таблица 24

Поперечные сечения прямоугольных борозд (в см)

Характер оруденения	Мощность рудных тел в м		
	> 2,5	от 2,5 до 0,5	< 0,5
Весьма равномерный и равномерный	5×2	6×2	10×2
Неравномерный	8×2,5	9×2,5	10×2,5
Весьма неравномерный и крайне неравномерный	8×3	10×3	12×3

Возможно и некоторое увеличение сечения борозд в мягких рудах, уменьшение же сечения борозд по сравнению с указанными в табл. 24 должно быть обосновано (в качестве обоснования требуются сравнительные данные опробования бороздами различных сечений).

При опробовании россыпных месторождений размеры борозд должны быть больше, в некоторых случаях даже в несколько раз больше предложенных выше.

Ручная отбойка обычно производится при помощи зубила или кирки и молотка. Вес молотка должен быть 1,75—2,5 кг. Наиболее удобная длина зубила и кирки 20—40 см.

Подготовка забоя, стенки или кровли выработки к опробованию заключается в предварительной их зачистке, выравнивании и наметке места отбойки борозд.

При отбойке борозды необходимо следить за тем, чтобы ширина и глубина ее были, по возможности, всюду одинаковыми и твердый материал отбивался в равной дозе с мягким. Отбитый материал необходимо принимать на лист тонкого железа или на брезент,

следа за тем, чтобы в пробу не попадали посторонние частицы с кровли и стенок выработки и чтобы отбитая руда не разбрасывалась.

Вороздовый способ отбора проб приемлем почти для всех коренных, а также для многих россыпных месторождений. Он иногда оказывается неэффективным при опробовании канав, вскрывающих весьма неравномерные жильные рудные тела, и совершенно неприемлем при некоторых брекчиевидных текстурах руд (в этом случае он влечет за собой систематические ошибки), а также на некоторых золоторудных и других месторождениях с очень малым размером рудных тел, на платиновых месторождениях с крайне неравномерным распределением платиноидов, на месторождениях драгоценных камней. Этот метод малопроизводителен в крепких рудах.

Задирковый способ заключается в отбойке (задирке) ровного слоя полезного ископаемого по всей обнаженной части рудного тела в забое, кровле или почве горной выработки. Опробование почвы иногда целесообразно производить лишь в канавах. Длина задиры при опробовании кровли горных выработок и почвы канав принимается обычно от 1 до 2 м. При опробовании забоев она определяется длиной рудного тела в пределах забоя. Глубина задиры (отбиваемого слоя) принимается равной 5—10 см. Вес задирковой пробы зависит от мощности рудных тел и вообще регламентирован быть не может.

Отбойка проб должна производиться с особой тщательностью; задырка неровным слоем, например, когда более мягкий рудный материал, приуроченный к висячему или лежащему боку залежи, поступает в пробу в относительно большем количестве, может привести к существенным ошибкам (к разубоживанию или обогащению проб). В связи с этим надо уделять большое внимание подготовке участков, подлежащих опробованию: прежде всего они должны быть по возможности выровнены.

Отбойка задырковых проб представляет собой трудоемкий и медленный процесс, который может отрицательно влиять на темпы проходки горных выработок. Задирковым способом следует пользоваться лишь в тех условиях, когда другие способы опробования не могут дать надежных результатов, а именно:

- 1) в процессе разведки канавами жильных месторождений малой мощности с весьма неравномерным и крайне неравномерным распределением исследуемых компонентов;

- 2) при опробовании тонких жил в подземных горных выработках и при контрольном опробовании жильных рудных тел средней и главным образом малой мощности;

- 3) при опробовании выходов золоторудных месторождений, характеризующихся наличием самородков золота.

Валовое опробование характеризуется медленностью производства, высокой стоимостью, а также сложностью определения содержания полезных компонентов в случае, когда горные выработки вместе с рудой обнажают и вмещающие, особенно минерализованные породы. Поэтому, если задачей опробования является

только определение содержания тех или иных компонентов, валовой способ применяется очень редко — только в тех случаях, когда ни один из описанных выше способов взятия проб не может дать надежных результатов.

Применение валового способа определяется в одних случаях специфическими текстурами руд: брекчиевыми, конгломератовыми и пр., в других — особенностями испытаний проб данного полезного ископаемого (например, слюд).

В пробу может отбираться вся рудная масса, например с каждой второй или третьей уходки, или только некоторая ее часть. Решение этого вопроса зависит от степени неравномерности распределения исследуемых компонентов, характера необходимых испытаний и других условий. Валовое опробование, например некоторых месторождений вольфрама, молибдена и олова, дает удовлетворительные результаты при начальных весах проб 1,0—1,5 т. И только если предполагается из рудной массы отбирать концентрат, начальные веса проб увеличиваются до 2—3 т. Когда вес рудной массы, отбитой за один цикл проходки, очень превышает указанный, производится сокращение пробы. Оно осуществляется тут же у забоя путем отбора в пробу *n*-й (2-й, 3-й, 5-й, 10-й, 20-й) лопаты.

Вопрос о том, которую по счету лопату нужно брать в пробу, решается практически с учетом количества рудной массы, получаемой за цикл проходки. Следует иметь в виду, что сокращение пробы тачками, бадьями и вагонетками, когда в пробу поступает каждая, например пятая из них, может привести (при относительно небольшом их числе) к серьезным ошибкам: точность опробования зависит от числа частичных проб.

Сплошное валовое опробование, без интервалов, производится на многих слюдяных месторождениях, на месторождениях драгоценных и оптических камней и на некоторых месторождениях редких металлов и платины, если рудные тела имеют небольшие скопления (резко обособленные «погреба», кустовые, гнездовые и др.).

В рассматриваемом случае проба часто не подвергается обычной обработке, т. е. сокращению до лабораторного веса, а целиком поступает на эксплуатационную установку (обоганительную фабрику, бегунную чашу и т. п.), и содержание полезных компонентов определяется для всего матернала пробы. Длина участка рудного тела, который характеризуется одной пробой, должна быть, по возможности, минимальной — не более 4—5 м.

Когда горными выработками обнажаются не только рудные тела, но и вмещающие породы, валовые пробы позволяют определить содержание промышленно ценных компонентов лишь в рудной массе, т. е. в руде, в той или иной мере «загрязненной» вмещающими породами.

Для определения содержания компонентов в руде, если границы рудного тела резкие, а вмещающие породы однородны и совершенно неоруденелы, или если непромышленное содержание в них компонента постоянно, достаточно производить: 1) точные зарисовки

выработок в масштабе 1 : 20 и 2) взвешивание валовых проб рудной массы. Содержание компонента в руде вычисляется по формуле

$$C_p = \frac{C_m q_m - C_n q_n}{q_p}, \quad (1.7)$$

где C_p , C_m , C_n — содержание определяемого компонента соответственно в руде, рудной массе и вмещающих породах;

q_p , q_m , q_n — вес руды, рудной массы и вмещающих пород.

Если возможна отборка пустых пород из рудной массы вручную, то отобранная порода также должна быть взвешена и учтена при определении C_p .

В условиях весьма равномерного и равномерного оруденения количество валовых проб, отбираемых на месторождении, должно составлять примерно 6—8, в случае неравномерного оруденения 15—20, а при весьма неравномерном и крайне неравномерном 30—40.

Наибольшее значение валовой способ опробования имеет для технологических испытаний, требующих больших масс полезного ископаемого. Он незаменим также при испытаниях физико-механических свойств (объемного веса, пористости, кусковатости, коэффициента разрыхления и т. п.) полезного ископаемого и вмещающих пород.

Для технологических испытаний валовые пробы отбираются с учетом распределения различных сортов руд в пространстве, их запасов и условий разработки месторождения. Если в процессе разведки намечается несколько типов руд, требующих применения различных схем обогащения или переработки и отдельного подсчета запасов, то, очевидно, и пробы для технологических испытаний нужно брать отдельно по каждому типу руд. Если же некоторые или все типы руд будут смешаны на обогатительной фабрике, то относительные количества их в валовой пробе должны быть пропорциональны запасам этих типов.

Перед началом валового опробования для технологических испытаний нужно стремиться выяснить: 1) вещественный состав, текстуры и структуры руд с количественной характеристикой вкрапленности полезных и «пустых» минералов по минеральным формам; 2) технологические требования промышленности к разведанному сырью и концентратам; 3) существующие методы обогащения и переработки разведываемых руд, а также влияние свойств руд и примесей на различные показатели обогащения и переработки; 4) степень освоенности методов обогащения и переработки этих руд промышленностью.

При необходимости отдельного испытания различных типов руды каждая технологическая проба должна представлять определенный тип руды, например: в зоне окисления полиметаллических месторождений — богатые свинцовые руды, цинково-свинцовые, исключительно или почти исключительно цинковые; среди первичных

руд — сплошные сульфидные (состоящие почти сплошь из сульфидов), агрегатные сульфидные (с тем или иным количеством нерудных минералов), вкрапленные.

Кроме основных типов, часто имеются переходные разности руд. Они, как правило, должны быть охарактеризованы дополнительными технологическими пробами меньшего веса по сравнению с основными.

Каждый тип руд и переходные разности должны быть представлены, кроме проб, достаточным количеством образцов, по которым детально изучается вещественный состав характеризуемых ими технологических проб. Помимо того, должен быть изучен и минеральный состав вмещающих пород, попадающих в руду при отбойке.

Наряду с минералогическим методом для изучения образцов широко используются химические и спектральные анализы, причем роль последних повышается с ростом требований на рассеянные и редкие элементы. На эти элементы проводятся анализы всех разновидностей руд и, если есть необходимость, то и отдельных минералов.

Состав рудной массы в некоторой мере зависит от принятой системы разработок. В связи с этим и условия отбора технологической пробы должны быть максимально приближены к условиям добычи. Например, при отбойке проб в жильных рудных телах малой мощности широкими подготовительными выработками следует пользоваться с осторожностью. Лучше пройти узкие восстающие выработки, соответствующие ширине очистного пространства. Возможность организации рудоразборки в процессе эксплуатации также нужно учитывать при отборе и обработке технологических проб. При этом следует отличать рудоразборку в забоях от рудоразборки рудной массы на поверхности.

Особенно большое значение имеет учет системы разработок при решении вопроса о возможности селективной выемки и выдачи различных типов руд. Опыт показывает, что при относительно небольших объемах, занимаемых незакономерно расположенными в пространстве различными типами руд, селективная выемка и выдача их оказываются настолько сложными, что от них приходится отказываться.

Таким образом, типовыми технологическими пробами должны быть представлены ведущие разности руд, локализация которых в пространстве позволяет производить подсчет их запасов и обеспечивает их раздельную выемку и выдачу.

В стадии предварительной разведки обычно отбираются пробы для лабораторных испытаний. В такую пробу отбирается руда с некоторого интервала выработки (1—2 пог. м) со всеми безрудными включениями в контуре залежки, которые не могут быть отделены в процессе эксплуатации (небольшие блоки и прослой пустых или слабооруденелых пород). При отсутствии горных выработок, позволяющих взять из глубинных частей месторождения валовые пробы, последние составляются из материала, добываемого в буровых скважинах (керна и шлам).

В стадии детальной разведки, когда для неизученных типов месторождений уже обязательно проходятся горные выработки, валовые пробы отбираются в этих выработках. Наиболее благоприятными условиями надо считать такие, когда имеется возможность отобрать пробы, характеризующие изменение качества руды и в горизонтальном направлении (из штолен и штреков), и в вертикальном (из шахт). При этом возможно объединение однотипного рудного материала из нескольких выработок для характеристики среднего качества полезного ископаемого на некотором участке площади месторождения. Минимальное количество валовых проб для каждого типа руд — три-четыре.

Валовые пробы, отбираемые в период детальной разведки, предназначены главным образом для испытаний в полужаводском или заводском масштабе. Эти пробы должны представлять средний состав рудной массы с вероятным разубоживанием за счет включения приконтурных пустых пород, не поддающихся отделению при добыче. Если же в условиях будущей эксплуатации возможна рудо-разборка, то материал пробы должен быть подвергнут такой же рудо-разборке.

Методика отбора заводских и полужаводских проб должна устанавливаться совместно геологом, горняком и технологом, так как стоимость испытаний этих огромных проб очень велика и повторение их в случае неправильного отбора пробы влечет за собой значительные потери средств.

Веса проб, предназначенных для технологических испытаний, зависят от масштаба испытаний. Для лабораторных испытаний металлургических и многих неметаллических руд обычно ограничиваются относительно небольшим количеством материала: от 100—250 до 1000 кг. При испытаниях в полужаводском масштабе веса проб увеличиваются до 10—15 т, а при испытаниях в заводском масштабе они определяются производительностью технологических агрегатов и временем, необходимым для проведения испытаний. Такие пробы весят от первых десятков до сотен тонн.

Отбор проб для выяснения некоторых физико-механических свойств руд и вмещающих горных пород, как правило, производится горняками. Однако в ряде случаев пробы и образцы для технических испытаний могут отбираться и геологом-разведчиком, который должен при этом руководствоваться специальными методиками испытания этих проб.

Основным требованием к образцам рыхлых горных пород и руд, предназначенным для технических испытаний, является сохранение их естественного состояния, прежде всего структуры и влажности.

3. ОТБОР ПРОБ ИЗ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Ударно-вращательное бурение. В зависимости от крепости полезного ископаемого пробы из скважин могут отбираться буровой ложкой, змеевиком или желонкой.

Буровая ложка применяется при проходке рыхлых полезных ископаемых, например при разведке кварцевых стекловых песков и суглинков с незначительными по размерам включениями бурых железняков, сидеритов и других минералов или пород.

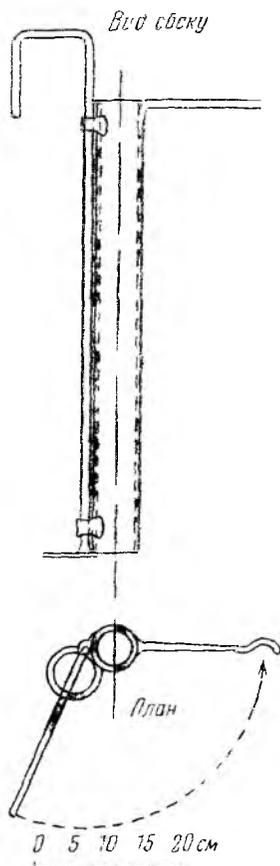


Рис. 91. Ручной пробоотборник системы Тиломирова и Коломенченко

Обязательным условием при опробовании таких зон является немедленное крепление стенок скважины. Колонна обсадных труб должна быть продвинута ниже забоя скважины на величину, не меньшую последующей забурки. Если это по техническим условиям невозможно, то крепление необходимо вести с таким расчетом, чтобы незакрепленная часть скважины при следующем опускании инструмента на забой не превышала длины участка, с которой принято в данных условиях брать одну пробу — в общем случае 0,5—2,0 м.

Взятие проб глин и глиноподобных материалов, например некоторых адсорбентов, производится змеевиком.

При извлечении полезного ископаемого желонкой проба представляет собой жидкую буровую грязь. Последняя выливается в баки, вода из которых после отстаивания сливается, а осадок помещается в железные коробки и высушивается на солнце или в печах.

Ударно-канатное и роторное бурение. При ударно-канатном и роторном бурении пробой служит буровая грязь, поднимаемая с забоя скважины обычной или пневматической желонкой. Вес сухой пробы с 1 пог. м колеблется в зависимости от диаметра скважины в пределах 45—220 кг. Во избежание ошибок опробования необходимо обращать внимание на фактические веса проб, сравнивая их с расчетными, так как трещиноватость рудных тел может обусловить потери мелко- и тонкоизмельченного рудного материала (это соображение относится и к ручному бурению) и, наоборот, увеличение веса проб вследствие осыпания стенок скважины.

Важно также предотвращать обогащение или разубоживание проб за счет соскабливания канатом стенок скважины рудного материала, прибегая в необходимых случаях к креплению скважины, даже если это связано с «потерей диаметра» или расширением скважины.

В целях наиболее полной очистки забоя на границах участков, с которых рудный материал поступает в отдельно анализируемую

пробу. по окончании первых подъемов желонки в скважину заливается вода. Заливка производится в несколько приемов, сопровождаемых каждый раз опусканием желонки, и только после того как вода, поднимаемая желонкой, становится относительно чистой, приступают к дальнейшему долочению.

Большой вес начальных проб и относительно сильное измельчение рудного материала долотом обуславливают необходимость и возможность сокращения проб непосредственно у скважины. Для этого используются специальные делители или ручные пробоотборники различной конструкции.

Пробоотборник (рис. 91) представляет собой железную трубку диаметром 4—10 см. Длина его должна быть примерно на 10 см больше глубины шламоприемного ящика. В нижней части пробоотборник снабжен специальной задвижкой, закрываемой после погружения в ящик со шламом. Перед отбором пробы содержимое шламоприемного ящика тщательно перемешивается.

Практика показала, что в большинстве случаев для того, чтобы отобрать пробу, отвечающую среднему химическому составу шлама в ящике, достаточно пяти—восьми погружений пробоотборника в точки, равномерно расположенных по сечению ящика.

Опробование должно производиться всей мощностью рудного тела, вскрытого буровой скважиной. Длина участка, приходящегося на одну пробу, принимается постоянной, не превышающей 1,0—1,5 м. Увеличение этой длины до 2—3 м (редко до 5 м) возможно лишь при сравнительно однородном строении рудных тел и только после накопления достаточного материала по детальному опробованию с интервалами 1,0—1,5 м.

При опробовании эксплуатационных скважин, пробуренных в карьерах для производства взрывных работ, длина пробы может быть равна высоте уступа карьера (5—10 м), если не производится селективная отбойка и отгрузка взорванной руды.

Иногда бывает необходимо опробовать вмещающие породы кровли и почвы. В первую очередь на анализ отправляют пробы с участков, непосредственно прилегающих к телу полезного ископаемого (на отрезках 0,3—0,5 м) с каждой его стороны. В зависимости от результатов анализа нескольких проб, полученных из первых скважины, решается вопрос о целесообразности опробования вмещающих пород по другим скважинам.

Материал, составляющий пробу, высушивается на железных листах и упаковывается в плотный мешок. Проба снабжается этикеткой и направляется в лабораторию для дальнейшей обработки и анализа.

Колонковое бурение При колонковом бурении пробами служат: керн при достаточном его выходе, керн и шлам при недостаточном выходе керна и один шлам при отсутствии керна.

Неполный выход керна или отсутствие его обуславливается различной твердостью минералов, слагающих рудное тело, раздробленностью и трещиноватостью руд, разрушением керна под действием

гидравлических ударов промывочной воды, а также в связи с заклинкой керна в колонковой трубе и последующим истиранием его кусточков при вращении снаряда.

В целях повышения выхода керна, который обычно представляет собой более надежный материал для опробования, чем шлам, рекомендуется вести проходку рудных зон коронками возможно большего диаметра, применять, где это целесообразно, двойные колонковые трубы, бурить, если возможно, твердыми сплавами или алмазами вместо дробы.

Для того чтобы шлам, отобранный с пробуренного участка, удовлетворял требованиям, предъявляемым к материалу пробы, необходимо, чтобы он не терялся в трещинах, не «загрязнялся» рудой или вмещающими породами вышележащих горизонтов и чтобы промывка скважин обеспечивала вынос все частиц разбуриваемой руды независимо от их удельного веса. Для соблюдения этих условий следует тщательно следить за режимом подаваемой в скважину воды и выходящей из нее буровой мути и закреплять скважину, не считаясь с затратой лишнего времени и средств даже на ее расширение, цементацию и обсадку трубами.

При разбуривании крупных месторождений систематическое опробование керна производится непрерывно по всей мощности тела полезного ископаемого. Длина участка, характеризующего одной пробой, принимается в этих условиях равной 1,0—1,5 м и может быть увеличена до 2—3 м, а иногда даже до 5 м, для залежей сравнительно однородного состава.

Если детальное опробование и предварительное макроскопическое изучение керна указывают на возможность и необходимость выделения нескольких типов (сортов) руд, производится секционное опробование.

В пробу берется половина керна, расколотого по длинной оси; другая половина оставляется для минералогического изучения.

Опробование шлама при разбуривании рудных месторождений обычно производится при выходе керна меньше 60—80%, но может оказаться необходимым при 90%-ном выходе керна, если предполагается его систематическое обогащение или разубоживание.

Решению вопроса о целесообразности анализа шлама при применении каротажа должен предшествовать тщательный просмотр керна.

Шлам отбирается в пробу с тех же участков рудной залежи, что и керна. Таким образом, количество проб шлама должно соответствовать количеству проб керна.

Перед заклинкой керна скважина тщательно промывается, чтобы с забоя был вынесен весь шлам. При дробовом бурении часть шлама попадает в шламовую трубу, а часть выносится на поверхность и улавливается соответствующими приспособлениями*.

* При дробовом бурении шламом называют только ту часть буровой мути, которая оседает в шламовой трубе. Но в общем случае колонкового бурения слова муть и шлам — синонимы.

Проба шлама является объединенной: она составляется из материала, собранного у устья скважины и из шламовой трубы. Истертая дробь, находящаяся в шламе, извлекается магнитом, если в материале нет магнитных минералов.

При алмазном бурении и бурении суррогатами в пробу поступает только шлам, собранный у устья скважины.

В случаях рыхлых и неустойчивых пород, когда выход керна бывает небольшой или совсем отсутствует (даже при бурении с двойными колонковыми трубами), а опробование шлама становится абсолютно ненадежным из-за потери буровой мути, рекомендуется бурить без промывки зубчатками («затирка всухую») с уменьшенным числом оборотов и короткими интервалами бурения или применять грунтоносы. Это единственное условие, когда короткие рейсы могут быть полезны.

Документация опробования. Отбитая руда ссыпается в плотный мешок, крепко завязывается, снабжается этикеткой и биркой и сдается на обработку. На этикетке отмечается номер пробы, место ее взятия, дата и фамилия лица, ведающего отбойкой проб; этикетка завертывается в пергамент и вкладывается в мешок. На бирке — деревянной табличке, привязываемой к мешку снаружи, — крупными цифрами указывается номер пробы.

Все пробы, отобранные на месторождении, должны иметь общую порядковую нумерацию. Обязательно ведется журнал опробования, в котором отмечаются: название месторождения, участка, выработки, номера проб, характер проб (дается краткое описание минерального состава каждой пробы и указывается предполагаемая концентрация металла: много, мало).

Планы опробования составляются на маркшейдерской основе масштаба 1 : 200—1 : 500 (реже 1 : 100) и пополняются по мере проходки горных выработок и накопления фактических данных.

При документации опробования скважин колонкового бурения в буровом журнале дается детальное описание керна и шлама на основании предварительного просмотра их под лупой или биноклем; фиксируется процент линейного выхода керна, его вес и вес шлама. Для каждой скважины составляется разрез (колонка), на котором отображается конструкция скважины и наносятся геологические данные.

4. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР СПОСОБА ОТБОРА ПРОБ

Геологические факторы. Ведущую роль в выборе способа опробования играет промышленный тип месторождения, характеризующийся прежде всего формой рудных тел и качеством руд, а также элементарный и минеральный состав руд. Существенную роль в выборе способа опробования играет также мощность рудных тел.

Так, мощные и весьма мощные рудные тела могут быть весьма эффективно опробованы способами: шпуровым, точечным, вычерпывания, если текстура руды для этого благоприятна.

При опробовании рудных тел средней мощности наряду с бороздовыми пробами удовлетворительные результаты могут дать точечные пробы, если текстура рудных тел и характер распределения исследуемых компонентов окажутся благоприятными.

Маломощные (меньше 0,8 м) и тонкие ($\approx 0,1$ м) рудные тела предпочтительнее опробовать задирковым способом. Целесообразность замены бороздовых проб задирковыми при опробовании таких рудных тел связана, кроме их малой мощности, с крайней неравномерностью распределения в них оруденения.

Размеры рудных тел влияют на выбор способа взятия проб главным образом в сочетании с рассматриваемым ниже фактором — степенью неравномерности распределения минералов, содержащих исследуемые компоненты. Но и в случае равномерного оруденения способ отбора зависит от размеров месторождения: чем крупнее месторождение, тем больше обычно берется проб и, следовательно, тем менее точный способ отбора проб может применяться.

Малый размер рудных тел некоторых месторождений золота и редких металлов с весьма неравномерным и крайне неравномерным распределением полезных компонентов нередко обуславливает необходимость применения только валового опробования.

Внутреннее строение тел полезных ископаемых, определяемое текстурой руд и распределением различных типов руд в контурах залежи, играет большую роль при выборе способа взятия проб.

Текстура руд в одних случаях совсем не влияет на выбор способов отбора проб, а в других — является решающим фактором.

При массивной текстуре возможно применение простейших способов отбора проб. в то время как пятнистая, кокардовая, брекчиевая и конгломератовая текстуры иногда могут препятствовать применению этих способов. Пятнистая текстура может оказаться крайне неблагоприятной даже для бороздового опробования, в частности, если рудное вещество характеризуется весьма незначительной крепостью (хрупкий или сыпучий рудный материал); в этом случае оно будет выкрашиваться при отборе проб значительно интенсивнее нерудного или слабооруденелого вещества.

Полосчатая текстура, связанная с последовательным отложением рудного вещества по стенкам трещин или с избирательным метасоматозом, а также слоистая текстура руд осадочного генезиса, сланцеватая и пльчатая текстура метаморфогенных руд иногда могут исключать при прочих благоприятных условиях применение шпурового и точечного опробования. В этих случаях следует применять бороздовое опробование.

При тонкополосчатой текстуре возможность внесения систематических ошибок при отборе проб перечисленными выше простей-

шими способами в преобладающем большинстве случаев можно считать исключенной.

Если неблагоприятная текстура отмечается в месторождении редко по сравнению с другими, то не имеет смысла осложнять из-за нее производство всех работ, применяя трудоемкие способы пробоотбора.

Размеры зерен полезных минералов в рудах позволяют уточнить выбор способа взятия проб. К рудам с видимыми зернами в некоторых случаях применим визуальный метод определения качества. Некоторые руды с невидимыми (очень мелкими) полезными минералами обладают очень равномерным оруденением и допускают без экспериментальной проверки применение простейших методов опробования.

Степень неравномерности распределения минералов, содержащих исследуемые компоненты, существенно влияет на выбор расстояния между пробами и на их размеры (веса), и таким образом, ограничивает возможности выбора способа пробоотбора.

Применение только валового опробования во всех стадиях разведки и эксплуатации слюдяных месторождений определяется, кроме крайне неравномерного распределения полезного компонента, также характером испытаний проб, для которых необходимы большие массы руды.

Высокая крепость руд часто может заставить использовать шпуровой способ или способ вычерпывания, а мягкая руда, в которой взятие пробы бороздовым способом требует весьма незначительного труда и времени, как правило, исключает применение обоих вышеупомянутых способов.

Общие факторы. Представительность (репрезентативность) проб является важнейшим понятием в теории опробования. Под степенью представительности пробы понимается степень соответствия содержания компонентов в пробе содержанию их в том целом, от которого она отобрана.

Вес представительной общей (начальной) пробы рудной массы Q можно определять по формуле

$$Q = qn \quad (16)$$

при

$$n = \left(\frac{tV}{p_0} \right)^2, \quad (17)$$

где q — средний вес частичных проб (порций, отсечек), из которых составляется общая проба, в кг;

n — количество частичных проб;

V — коэффициент вариации содержания металла в частичных пробах в процентах;

t — коэффициент вероятности;

p_0 — допустимая (заданная) погрешность пробоотбора в процентах к содержанию металла в опробуемой руде.

Вообще представительность забойной пробы зависит прежде всего от изменчивости руд, и отдельная проба может быть представительной для всего месторождения только при вполне равномерных рудах. Обычно же о среднем содержании компонентов не только во всем рудном теле, но даже в блоке приходится судить по нескольким, чаще всего по многим пробам. В итоге можно сказать: чем представительнее каждая отдельная проба, тем более простые способы пробоотбора можно применять.

Задачи опробования нередко оказывают решающее влияние на выбор способа взятия проб. К валовому опробованию, например, приходится прибегать при необходимости производства «рациональных» (или фазовых) анализов с целью установления процентного содержания всех минералов в рудах, особенно первичных и окисленных.

При опробовании с целью установления физических и других свойств полезных ископаемых, которыми в основном определяется их качество, например при опробовании некоторых строительных материалов, взятие проб носит специфический характер (сохранение структуры породы, вырезывание кубиков и т. п.).

Опробование может быть систематическим, т. е. производиться непрерывно по мере продвижения выработок по полезному ископаемому, и выборочным, когда опробуются только некоторые участки в целях решения специальных задач.

Выбор простейших, быстрых способов взятия проб теряет свою актуальность в тех случаях, когда объем работ незначителен. Напротив, при больших объемах работ по опробованию приходится прибегать к наиболее дешевым и простым, хотя и менее точным способам пробоотбора (точечному, шпуровому, штупному).

Условия производства работ также влияют на выбор способа взятия проб. Например, при опробовании разведочных канав отбор проб производится задиirkовым, а не бороздовым способом в связи с неудобством отбойки борозд в почве, а иногда и по стенкам из-за стесненного пространства.

Срочность производства работ, определяемая народнохозяйственными соображениями обуславливает выбор наименее трудоемкого и наиболее быстрого способа опробования.

5. РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПРОБАМИ

Условимся называть пробой: сумму частичных проб (порций), отобранных у забоя способом вычерпывания с каждого данного навала руды после огпалки; сумму частичных проб (кусочков), отбитых в забое точечным способом; рудный материал (буровую муку), собранный со всех шпуров или с принятой части шпуров каждой данной уходки; материал из одной борозды или из двух и трех борозд, отбитых в забое при весьма и крайне неравномерном орудуении; задирку в забое по стенке, кровле или почве выработки при определенной ее длине; рудный материал, взятый с одного интервала

выработки или отобранный в нескольких пунктах, при валовом опробовании; материал, соответствующий выделенному типу руды, при секционном опробовании.

В разведочных, подготовительных и очистных выработках, проходимых по простиранию и падению (восстанию) рудных тел, при малой и средней мощности, пробы следует брать через некоторые промежутки (интервалы). Расстояние между пробами в ортах (и квершлагах) будем считать всегда равным нулю, так как здесь пробы отбираются непрерывной цепью по линии мощности тела.

В общем случае расстояния (интервалы) между пробами зависят от степени неравномерности оруденения, для которой приняты четыре градации (см. табл. 25). Чем равномернее оруденение, тем расстояния между пробами могут быть больше.

Наличие рудных столбов (в том числе кустового и гнездового типов) и повторные стадии оруденения обуславливают различную степень неравномерности оруденения по простиранию и падению рудных тел; величина коэффициента вариации по качеству V удовлетворительно увязывается с комплексом геолого-минералогических особенностей каждого данного месторождения.

К числу прочих факторов, влияющих на величину коэффициента вариации, но уже не зависящих от свойств, присущих исследуемому, объекту, могут быть отнесены: 1) размеры участков месторождений, для которых вычисляются эти коэффициенты; 2) тип проб и их размеры; 3) условия их анализа.

Зависимость величины коэффициента вариации от типа и размеров проб, по которым она определена, устанавливается вполне четко: значения V , вычисленные по пробам большого веса (валовым, адирковым), обычно бывают меньше значений, вычисленных, при прочих равных условиях, по пробам малого веса (борздовым или другим).

Влияние условий анализа сказывается следующим образом: если коэффициент вариации вычисляется по объединенным пробам, то величина его будет меньше, чем в том случае, если каждая проба анализируется отдельно. Коэффициент вариации весьма полезен для решения вопроса о расстоянии между пробами.

В формулах (16) и (17) не учитывается зависимость коэффициента вариации от расстояния между пробами. Еще в 1936 г. Д. А. Зенков предложил выражать эту зависимость следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{L}{l} = \left(\frac{V}{p_0} \right)^2 \\ l &= \frac{L p_0^2}{V^2} \end{aligned} \right\}, \quad (18)$$

где l — расстояние между пробами в блоке с периметром L .

Площадь влияния пробы S_0 при величине всей опробуемой площади S выражается формулой

$$S_0 = \frac{S p_0^2}{V^2}. \quad (19)$$

В формулах (18) и (19) значения n , p_0 и V те же, что и в формуле (17).

Следует помнить в виду, что вычисленные по формуле (18) число проб n или величина интервала l должны быть использованы по отношению к тому же виду проб, по которому вычислен V , входящий в эти формулы. Например, если V определен по задирковым пробам, то и результаты вычисления n или l должны быть применены к задирковому опробованию.

Число проб, по которому определяется величина V , распространяемая затем по аналогии на смежные участки месторождения, зависит главным образом от степени неравномерности месторождения. При обработке результатов довольно большого числа опытов с моделями жильных рудных тел методом разрежения сети проб установлено, что минимальным числом проб, обеспечивающим более или менее надежное определение V для подготовленного к добыче блока нормальных размеров, являются: для месторождений с равномерным оруденением 12—16, для месторождений с неравномерным оруденением 20—25 и для месторождений с весьма неравномерным и крайне неравномерным оруденением 35—50.

Опыт показывает, что задачам, стоящим перед систематическим опробованием разведочных и подготовительных выработок, вполне удовлетворяют интервалы между пробами, приведенные в табл. 25.

При использовании данных табл. 25 необходимо помнить в виду следующее.

1. Коэффициент вариации содержания и других исследуемых свойств является вспомогательным признаком, характеризующим степень неравномерности оруденения. Отнесение комплексного месторождения к той или иной группе необходимо производить с учетом наиболее сильно варьирующего содержания полезного компонента.

2. Приведенные расстояния между пробами являются ориентировочными и могут в зависимости от местных условий меняться в ту или иную сторону (обычно в сторону увеличения). Имеются достаточные основания полагать, что анализ густоты сети опробования методом разрежения (там, где это возможно) позволит во многих случаях выбрать более редкую сеть, чем предусмотрено в табл. 25.

3. При разведке и подготовке к эксплуатации мощных рудных тел систематическое опробование следует производить только в выработках, пройденных вкрест простирания.

В случае изомергических тел (например, некоторых штокверков, массивов), когда все разведочные выработки дают более или менее равноценный материал для создания разведочных разрезов, опробование должно производиться путем отбора непрерывной цепи проб во всех горизонтальных и вертикальных выработках.

4. При эксплуатации хорошо изученных месторождений, характеризующихся равномерным составом, систематическое опробование подготовительных выработок не обязательно. К числу таких месторождений относятся, например, месторождения углей, горючих сланцев, строительных материалов, цементного сырья, фосфоритов,

Зависимость расстояния между пробами от характера распределения компонентов

Характер распределения компонентов, подлежащих определению	Коэффициент вариации V в %	Типы месторождений	Ориентировочные расстояния между пробами по простиранию плоских залежек в м	Количество проб на блок размером примерно 40×60 м	
				Общее количество проб по отдельным местностям	Количество обследованных проб
1. Равномерный	5—40 (средний 30)	Месторождения углей, горючих сланцев, строительных материалов, флюсов, цементного сырья, серы, каменных и калийных солей, фосфоритов, некоторых железных и марганцевых руд, нередко имеющих $V = 5—10\%$. Некоторые более сложные месторождения серы, глины, каолинов, марганцевых руд типа чагурских и никольских, железных руд типа ливецких, и тульских, халиловских и алабаевских, криворожских и КМА, а также многие другие месторождения с $V = 10—40\%$	50—6	20—100	10—25
2. Неравномерный	40—100 (средний 80)	Преобладающее большинство медных и полиметаллических месторождений, часть месторождений вольфрама, молибдена, а также немногие золоторудные месторождения	6—4	100—320	25—30
3. Весьма неравномерный	100—150 (средний 130)	Некоторые полиметаллические месторождения, большинство месторождений олова, вольфрама, молибдена, а также часть месторождений золота	4—2,5	320—450	30—40
4. Крайне неравномерный	Свыше 150 (средний 200)	Многие месторождения редких металлов и золота	2,5—2	450—600	40—50

Примечание. Величины V , помещенные в этой таблице, вычислены по данным бороздового опробования. Величины мощностей приняты во внимание только в первом типе распределения компонентов.

солей и др. В процессе подготовки месторождений к эксплуатации нужно лишь контролировать характер оруденения выборочным опробованием.

5. При шпуровом опробовании, совмещенном с продвижением забоев, расстояния между пробами лучше принимать равными нулю в выработках всех направлений. Расстояния между шпурами, пробуриваемыми из штреков в целях оконтуривания рудных тел, должны приниматься в соответствии с общими требованиями, приведенными в табл. 25.

6. При эксплуатации месторождений с неравномерным и весьма неравномерным оруденением приведенные в табл. 25 расстояния между пробами в подготовительных выработках часто не позволяют охарактеризовать каждый из блоков с достаточной точностью. Установлено, например, что при таких расстояниях погрешность определения запасов металла в нормальном блоке некоторых жильных молибденовых, оловянных и особенно золоторудных месторождений иногда превышает 70%. Но и при уменьшении расстояний между пробами погрешность уменьшается весьма незначительно.

Погрешность бывает с отрицательным и положительным знаком, т. е. является случайной, поэтому для группы смежных подготовленных к добыче блоков величина ее уменьшается; погрешности разных знаков компенсируются. При достаточном числе блоков (например, при четырех-восьми) она заметно снижается, нередко до 5—4%, а иногда и ниже. Это обстоятельство позволяет по-иному поставить вопрос о расстоянии между пробами для некоторых эксплуатируемых месторождений, а именно — ориентироваться при выборе расстояний не на один блок, а на группу одновременно разрабатываемых блоков. В этом случае расстояния между пробами могут быть значительно больше указанных в табл. 25.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ БЕЗ ОТБОРА ПРОБ

В определенных условиях можно оценить качество полезного ископаемого на месте его залегания, в искусственном или естественном обнажении без отбора пробы.

Визуальный способ. Визуальный способ «беспробного опробования» подробно разработан еще в 1941 г. на медноколчеданных месторождениях Урала В. И. Ивановым, С. М. Малий и др. Этот способ применяется в двух модификациях.

1. При наличии нескольких типов руд, различаемых на глаз, среднее содержание исследуемого компонента вычисляется пропорционально площадям распространения этих типов, используя зарисовки (рис. 92).

2. При очень крупной вкрапленности полезных минералов и возможности площадного обмера каждого зерна (или агрегата зерен) в изучаемом забое среднее содержание полезного компонента опре-

тепется как отношение суммы площадей полезных минералов ко всей изучаемой площади (площади забоя или иного обнажения).

Расхождения между запасами, подсчитанными с помощью графического (площадного) способа, и фактически извлеченным количеством полезного ископаемого выражается в 10%. Следовательно,

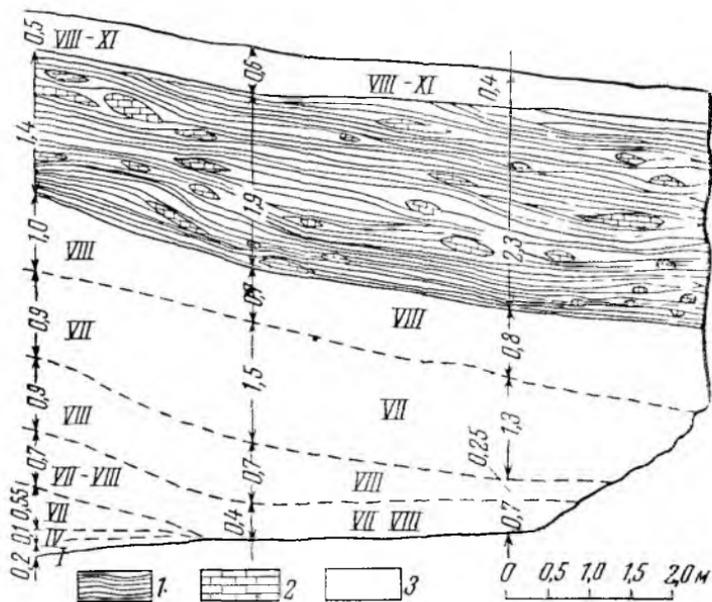


Рис. 92. Пример геологической документации на медном руднике по естественным типам руд (визуальное опробование)
1 — сланцы, 2 — известняки, 3 — руды. Римскими цифрами обозначены различные типы руд

этот самый дешевый способ опробования можно считать удовлетворительным и по результатам.

При визуальном определении качества полезного ископаемого используются некоторые вспомогательные средства, облегчающие выделение полезных минералов в обнажении. Одним из таких средств при разведке рудных месторождений является люминескоп. В этом случае используются люминесцентные свойства полезных минералов (шпеллига, циркона, торбернита и др.).

Радиометрический способ. Из разнообразных геофизических способов «опробования» наиболее изучен и внедрен в практику радиометрический, заключающийся в определении содержания радиоактивных элементов в рудах на месте их залегания по интенсивности гамма-излучения.

Радиометрическое опробование может применяться к однокомпонентным урановым, ториевым и калиевым рудам; наиболее широко оно используется на урановых месторождениях, особенно при ненарушенном равновесии между ураном и радием. Основы этого метода были разработаны в 1946—1948 гг. А. Г. Граммаковым, В. И. Барановым, В. Л. Шашкиным, М. Б. Ширяевой и М. Д. Бритаевым.

Радиометрическое опробование в случае ненарушенного равновесия между ураном и радием дает результаты, не уступающие по точности обычному опробованию.

Основная задача радиометрического опробования заключается в том, чтобы из общего излучения, измеренного прибором, выделить излучение интересующего участка горной породы. Для этой цели используются обычные радиометры с различного рода экранами, а также радиометры направленного приема.

Расположение пунктов измерения при радиометрическом «опробовании» с экранами соответствует расположению бороздовых проб.

Наряду с радиометрическим опробованием с экранами применяется шпуровое радиометрическое опробование, которое при благоприятных геологических условиях может являться наиболее рациональным методом, особенно, если можно использовать шпур, пройденные для взрывных работ.

Шпуровое радиометрическое опробование производится или по отпалочным шпурам, или по специальным шпурам, пробуренным для прослеживания оруденения за пределы выработки в ее стенках и кровле. Радиометрическое опробование шпуров представляет собой задачу, аналогичную гамма-каротажу.

Контроль радиометрического опробования осуществляется каким-либо другим способом опробования, чаще всего — обычными способами пробоотбора с последующим химическим анализом проб. Результаты шпурового радиометрического опробования можно контролировать также анализом проб буровой муки.

Требуют еще упоминания полевое количественное определение бора, бериллия и гамма-гамма-каротаж.

Для определения бора проба борной руды (или какого-либо борного минерала) весом 100 г помещается на пути движения нейтронов (аппарат очень прост и безопасен), которые поглощаются изотопами B^{10} . Чувствительность метода 0,02% B_2O_3 .

Предложенный Г. М. Воскобойниковым гамма-гамма-каротаж, или селективный каротаж, по данным В. Н. Балашова, уже сейчас дает интересные результаты при любом источнике мягкого гамма-излучения. Содержание элементов, начиная от № 50 (Sn) в таблице Менделеева, получается в количественном выражении; при этом для вольфрама, ртути и свинца точность оценки достигает 0,2%, а для олова и сурьмы 0,5%. Лучшие результаты получаются, естественно, в скважинах без обсадных труб.

Для получения надежных данных для количественных определений необходимо произвести широкие экспериментальные работы, но уже сейчас ясны большие перспективы гамма-гамма-каротажа.

В недалеком будущем можно ожидать производства опробования прямо в скважинах и забоях с получением количественных данных о содержании в рудах тех или иных элементов.

7. ОПРОБОВАНИЕ РОССЫПЕЙ

Хотя к россыпям и применимы почти все рассмотренные способы илтигия проб, все же способы их опробования существенно отличаются от опробования коренных месторождений. Основное отличие заключается в процессе обработки проб, которая обычно производится на месте поисковых или разведочных работ путем промывки.

Основная трудность опробования россыпных месторождений золота и платины заключается в весьма низком содержании и крайне неравномерном распределении зерен полезного ископаемого в опробуемом материале. Это обуславливает необходимость шурфовых работ или бурения скважин очень большого диаметра. Значительно больше рудных минералов содержится в оловянных, вольфрамовых и в титано-циркониевых песках. Здесь относительная равномерность распределения рудных минералов в россыпи и количество их настолько увеличиваются по сравнению с Au и Pt, что опробованию путем буровых работ отводится главное, а порой исключительное место.

Совершенно особняком стоят алмазные россыпи. В некоторых из них содержание алмазов во много раз меньше, чем содержание металла в золотых и платиновых россыпях. Кроме того, алмазы крайне неравномерно распределены как по площади, так и в вертикальном разрезе. Это часто вызывает необходимость отбора больших проб, а следовательно, и необходимость применения шурфов и других горных выработок. Бурению отводится вспомогательная роль. Использование шлихового метода, а также геофизических средств или непосредственной констатации алмазов также встречает большие трудности.

При разведке россыпей углубка шурфов осуществляется путем илметки отдельных горизонтальных слоев определенной мощности, причем порода из каждого такого слоя складывается в отдельную кучу («выкид») и размещается на площадке вокруг шурфа.

До последнего времени общепринятый стандарт углубки разведочной выработки, или «интервал опробования», составлял 0,2 м. Однако, поскольку в настоящее время масштабы раздельной разработки россыпей все более сокращаются, уступая место механизированной сплошной добыче песков (драги, гидравлический способ), интервал опробования нередко можно увеличить до 0,5 м. Только в россыпях, предназначенных для раздельной добычи, следует сохранить интервал опробования 0,2 м при отборе проб в торфах (в слое мощностью 2—3 м, лежащем непосредственно над продуктивным пластом) и в самом пласте.

Пробы, поступающие в промывку, должны иметь постоянный объем. Для измерения его служат продолговатые корытообразные илники: - ендовки — размером вверху 0,60 × 0,30 м, внизу 0,50 × 0,20 м, высотой 0,17 м. Ендовка всегда насыпается доверху,

содержимое ее уплотняется встряхиванием и ударами лопаты, а излишек породы удаляется под линейку. Учитывая разрыхленность породы, объем такой эндовки при расчетах обычно принимают равным $0,02 \text{ м}^3$. Средний вес породы, вмещаемой эндовкой, зависит от состава россыпи и определяется путем большого числа взвешиваний. От выкида, обычно из разных его точек, берут одну-две эндовки и каждую из них промывают отдельно. При проходке шурфов с помощью взрывных работ (и в некоторых других случаях) применяется обычное бороздвое опробование — чаще всего отбираются две борозды сечением $\approx 30-50 \times 15-20 \text{ см}$ на противоположных стенках шурфа.

Иногда пробу из выкидов шурфа можно сокращать квартованием либо путем отбора материала способом вычерпывания или бороздовым, при этом борозда располагается по диаметру расплющенного выкида или отбираются две борозды крест-накрест. Проверка показала, что все эти способы дают достаточно близкие результаты, но бороздовый способ сокращения проб наиболее прост и удобен, поэтому он наиболее широко распространен.

Серьезное внимание при разведке обращается на опробование плотика, особенно в тех случаях, когда он оказывается благоприятным для концентрации тяжелых металлов и минералов.

Проходка шурфов является самым дорогим средством разведки, особенно в водоносных отложениях, поэтому в настоящее время уже разработаны и начинают внедряться в практику агрегаты для механизированной проходки буровых дудок больших диаметров — установка ПУРШ, буровая машина БМН-860.

Бурение при разведке неглубоких россыпей часто производится буром Эмпайр диаметром 4 и 6". Реже используется Невьянский бур с диаметром наконечников до 458 мм, позволяющий вести проходку в мягких породах с включениями гальки и валунов размером от 160—170 мм в поперечнике. В последнее время используются также шнеки и лайзлы. На более глубоких россыпях обычно применяется механическое ударно-канатное бурение.

Получение надежных результатов опробования требует: 1) тщательного крепления скважин с некоторым опережением фрезера обсадных труб по отношению к буровому наконечнику; 2) возможно более точной фиксации продвижения труб и высоты столбика породы в трубах до забурки (до желонения); 3) тщательных замеров объема вынутой породы и 4) контроля опробования скважины путем отбора проб в сопряженных с ней шурфах (исключение составляют скважины, пробуренные Невьянским комплектом и буровыми машинами БМН-860 и ПУРШ, не требующие такого контроля).

Русловые алмазные россыпи опробуются при помощи экскаваторов и пахарей, которыми проводится однометровая непрерывная подводная канава; при значительной ширине россыпи канава разделяется на секции. При помощи канав опробуются ложковые россыпи, а также косовые и долинные. При резком увеличении мощности отложений канавы заменяются шурфами.

ОБРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ПРОБ. КОНТРОЛЬ ОПРОБОВАНИЯ

1. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ПРОБ

Сущность процесса обработки проб состоит в подготовке материала, добытого из разведочных и подготовительных горных выработок или из буровых скважин, к лабораторным или иным испытаниям.

Необходимость такой подготовки проб определяется прежде всего тем, что в пробу всегда отбирается много материала, а химические анализы проводятся, как правило, только с небольшой его частью. Кроме того, различные задачи опробования иногда вызывают необходимость объединения или предварительного обогащения материала различных проб. Все эти операции представляют собой полевую обработку проб, в отличие от обработки проб, которая производится в процессе их испытания в химической или иной лаборатории.

Рациональное объединение проб, по сравнению с системой обработки и анализа каждой отдельной пробы, имеет следующие преимущества: уменьшается объем лабораторных работ, а следовательно, и сроки выполнения анализов; существенно сокращаются расходы по опробованию и несколько упрощаются в дальнейшем подсчеты запасов — все это без снижения точности результатов. Обычно объединяются две-четыре смежные пробы. В случае систематического секционного опробования могут, если это окажется необходимым, объединяться соответствующие секции смежных проб.

Основные правила, которые необходимо соблюдать при объединении проб, состоят в следующем:

1) объединяться могут только смежные пробы;

2) объединять можно только однотипный по качеству материал.

Объединение проб производится двумя способами: 1) в начале обработки, обычно у места взятия, без предварительного измельчения и сокращения и 2) в конце обработки, после доведения каждой пробы до конечных лабораторных размеров.

Первый способ целесообразно применять во всех случаях, когда числа объединяемых проб невелики, т. е. при бороздовом, точечном и шпуровом опробовании.

Объединение задирковых и валовых проб, имеющих обычно большой вес, удобно производить вторым способом. Первый способ

в этом случае окажется слишком громоздким и потребует много места для обработки объединенной пробы.

Объединение проб после обработки производится пропорционально весам начальных проб. Отбор рудного материала при этом осуществляется способом полного вычерпывания.

Объединенные пробы целесообразно в большинстве случаев предварительно подвергнуть полуколичественному спектральному анализу.

Различают главные и второстепенные компоненты полезного ископаемого. К первым относятся компоненты, имеющие самостоятельное промышленное значение, по содержанию которых намечаются контуры промышленных руд и их сортов, а ко вторым — все прочие компоненты, влияющие на выбор схемы технологической обработки и переработки руд. Компоненты первого типа определяются, как правило, по всем рядовым пробам и описанным выше объединенным забойным пробам. Для определения компонентов второго типа (компонентов-спутников) составляются так называемые групповые пробы, объединяющие большое количество разнообразных проб, взятых на большом участке, пропорционально исходному весу объединяемых проб. По таким же пробам определяется среднее содержание всех компонентов в данном типе полезного ископаемого. Групповые пробы всегда требуют анализа повышенной точности по сравнению с рядовыми пробам.

Процесс обработки проб тем сложнее, чем более неоднороден материал начальной пробы. Действительно, если мы имеем совершенно однородную массу, например слиток чистого золота весом 20 кг, и в любом пункте его поверхности спилим 0,5—1,0 г металла, то это малое количество его точно отразит средний состав слитка. Совсем иная картина получится при делении неоднородной пробы руды. В такой пробе будут кусочки и с более высоким и с более низким и даже нулевым содержанием металла по сравнению со средним содержанием его во всей пробе. Разность между действительным содержанием металла в исходной пробе и содержанием его в той части пробы, которая осталась после сокращения, называется **п о г р е ш н о с т ь ю с о к р а щ е н и я**.

Погрешность сокращения тем меньше, чем однороднее руда и чем больше число частиц (кусков) руды в сокращенной пробе. Поэтому перед сокращением пробу приходится соответствующим образом измельчать.

Ясно, что наиболее простым и в то же время надежным способом получения лабораторной пробы является измельчение начальной пробы до тончайших частиц (0,1—0,07 мм в поперечнике), тщательное перемешивание полученной массы и сокращение до необходимого конечного веса. Однако этот способ приемлем лишь при небольшом весе начальных проб. При значительном их весе тонкое измельчение руды требует слишком большой затраты времени и средств. Поэтому такие пробы измельчаются и сокращаются в несколько приемов. Прежде всего начальную пробу дробят до определенного диаметра,

позволяющего разделить пробу на некоторое количество частей n , кратное двум; раздробленную массу тщательно перемешивают и делят последовательно на две части (из которых одна каждый раз отбрасывается, а другая снова делится пополам и т. д.) вплоть до получения $\frac{1}{n}$ пробы; затем вновь измельчают эту часть пробы до следующего меньшего диаметра, позволяющего произвести сокращение, и т. д. пока не получится лабораторная навеска.

Оптимальным (надежным) весом пробы называется тот вес, до которого может быть сокращена проба данной руды, измельченная до определенного размера (диаметра) частиц, при условии, что погрешность сокращения не выйдет за допустимые пределы. Можно, наоборот, задаться весом сокращенной пробы и определить степень измельчения (размер частиц, до которого должна быть измельчена проба), позволяющую сократить пробу до этого веса с тем, чтобы погрешность сокращения не выходила за пределы допустимой.

Из изложенного ясно, что надежный вес пробы в основном определяется: 1) крупностью материала пробы — чем мельче частицы пробы, тем меньше может быть ее надежный вес; 2) степенью неоднородности материала пробы — чем неоднороднее материал, тем больше должен быть надежный вес пробы; 3) величиной допустимой или заданной погрешности сокращения — чем большая допускается погрешность, тем меньше может быть надежный вес пробы. Кроме того, на величину надежного веса проб оказывают некоторое влияние содержание исследуемого компонента в наиболее ценном минерале пробы, размеры частиц и удельный вес этого минерала, среднее содержание исследуемого компонента в пробе и некоторые другие факторы.

Для определения надежного веса проб предложено несколько формул, выражающих определенные принципы обработки, из них наиболее часто пользуются формулами: Ричардса — Четта и Демонда и Хальфердаля.

Формула Ричардса — Четта. На основании анализа практической работы по сокращению проб Ричардс пришел к выводу, что надежные веса проб приблизительно пропорциональны квадрату диаметров максимальных частиц, и составил таблицу для определения предела измельчения проб в зависимости от их веса. Позднее этот вывод Ричардса был выражен Г. О. Четтом в виде уравнения

$$Q = Kd^2, \quad (20)$$

где Q — надежный вес сокращенной пробы в кг;

d — диаметр наибольших частиц в мм;

K — коэффициент, зависящий от характера полезного ископаемого.

В соответствии с этой формулой первое сокращение пробы после дробления можно производить при ее весе $Q \geq 2Kd^2$.

Величина K может определяться экспериментально. Для этой цели сокращение каждой экспериментальной пробы производится при различных K и фиксируется то значение, при котором кривая ошибок получает резкий перегиб. Каждый анализ нужно производить по меньшей мере по четырем навескам.

Ф о р м у л а Д е м о н д а и Х а л ь ф е р д а л я. Демонд и Хальфердаль по-иному подходят к этому вопросу. Большинство кусков крупнодробленной руды представлено сростками рудных и безрудных минералов, при дроблении которых получается все больше и больше частиц, состоящих только из одного минерала. Очевидно, что одна наиболее богатая частица, попавшая в сокращенную пробу в избытке или недостатке по сравнению с их количеством в начальной пробе, при крупном измельчении окажет меньшее влияние на содержание, чем при тонком. Следовательно, чтобы искажающее влияние такой частицы было одинаково мало, при крупном измельчении требуется меньшее количество частиц, чем при тонком. Исходя из этого, Демонд и Хальфердаль пришли к выводу, что вес пробы должен быть пропорционален диаметру частиц в степени a , где $a < 3$. Зависимость между весом пробы и крупностью частиц в общем виде выражается уравнением

$$Q = Kd^a, \quad (21)$$

где a — для разных руд может изменяться в пределах 1,5—2,7 (так как при измельчении скорость изменения неоднородности у разных руд различна).

Вопрос о величине a практически актуален лишь при обработке проб большого веса и большой крупности начального материала: при валовом опробовании, иногда при задирковом, при опробовании добытых товарных руд, а также при обработке технологических проб.

Практически пользоваться формулой $Q = Kd^2$ более удобно, чем формулой $Q = Kd^a$, и применение первой формулы существенных возражений не встречает. Значения коэффициентов K , рекомендуемые для различных типов руд, приведены в табл. 26.

Коэффициент K принимается по одному из основных компонентов руд, распределенному наиболее неравномерно.

При определении в пробах компонентов очень малой концентрации, например индия, связанного с цинковой обманкой и другими сульфидами, обработка должна вестись с сохранением всех отбросов. Последние необходимо измельчать и тщательно (двукратно или трехкратно) промывать до полного извлечения сульфидов. Полученный концентрат будет значительно богаче сульфидами, чем проба руды, благодаря чему определение индия будет относительно менее сложным и более надежным.

Если практически полное или почти полное извлечение сульфидов (или других тяжелых минералов) путем промывки в лотке не удастся, то может оказаться целесообразным применение для этих целей лабораторных отсадочных машин или даже отбор мономинер-

ральных фракций вручную. Во всяком случае необходимо стремиться к положительному решению этой задачи, так как непосредственное определение некоторых рассеянных элементов при малой концентрации их в руде в случае слишком больших навесок становится очень сложным, а иногда и ненадежным.

Таблица 26

Значение коэффициента K в формуле
 $Q = Kd^2$ в зависимости от типа руд
 (по П. В. Барышеву с некоторыми
 изменениями)

Типы руд	K
Равномерные	0,05
Неравномерные	0,10
Весьма неравномерные	0,20—0,30
Крайне неравномерные	0,40—0,50

Такая обработка проб целесообразна и в других условиях, в частности при опробовании оловянных, вольфрамовых и золотых руд. Промывка протолочки позволяет получить в полевых условиях ориентировочное, а иногда и довольно точное представление о содержании указанных металлов до производства химических анализов.

2. ТЕХНИКА ОБРАБОТКИ ПРОБ

Процесс обработки проб обычно включает следующие операции: 1) измельчение (дробление); 2) просеивание (грохочение); 3) перемешивание; 4) сокращение. Все эти операции могут производиться как вручную, так и при помощи механизмов. Выбор ручного или механического способа обработки проб определяется технико-экономическими соображениями. При этом главными факторами, подлежащими учету, являются объем и срок производства работ.

Измельчение. В обычных случаях обработки проб применяются такие последовательные измельчения: крупное (100—30 мм), среднее (12—5 мм), мелкое (3—0,7 мм) и тонкое (0,15—0,07 мм). Советская промышленность выпускает ряд дробилок и истирателей для различной степени измельчения руды.

Для среднего и мелкого дробления используются щековые дробилки и дробильные валки, обеспечивающие измельчение до 1—5 мм. Максимальная крупность кусков, поступающих в дробилки, 50—60 мм, на валки 15 мм.

Тонкое измельчение (до 0,15—0,05 мм) осуществляется с помощью шаровых мельниц и различного типа истирателей (вибрационных, дисковых), крупность питания их 2—4 мм, производительность до 20 кг/ч.

Ручное измельчение проб производится молотками на чугунных или железных плитах. Рабочее пространство должно

быть огорожено для предотвращения разбрасывания при дроблении рудного материала.

При среднем измельчении относительно мелкого материала, например бороздовых проб, состоящих обычно из кусков не крупнее 25—30 мм, целесообразно производить дробление внутри железного кольца, снабженного деревянной или железной ручкой; это устраняет разбрасывание и потери материала пробы, которые могут произойти при дроблении непосредственно на плите без кольца.

Среднее измельчение может производиться и в больших чугунных ступах с вогнутым или плоским дном. Ступы имеют высоту 60 см, диаметр 40 см, вес до 80 кг. Вес песта до 15 кг. Дробление в тяжелых ступах производится с балансиром (рис. 93).

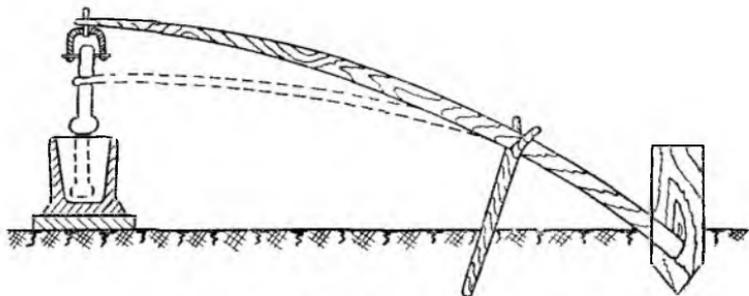


Рис. 93. Дробление пробы пестом с балансиром

Вес молотков при крупном дроблении должен быть 4—6 кг, при среднем 1,3—3,0 кг. Целесообразно пользоваться молотками с закругленным боем; они обеспечивают сосредоточенный удар и дают меньше пыли.

Мелкое ручное измельчение осуществляется в ступах средних и малых размеров: высота 25—30 см, диаметр 15—20 см, вес 10—12 кг. Вес песта 2—5 кг.

Ручное истирание пробы до 0,15—0,07 мм производится на чугунной доске с закраинами при помощи массивного башмака или валька с рукояткой. Вес башмака до 6 кг.

Просеивание. При большом весе проб просеивание целесообразно механизировать, используя плоские или барабанные грохоты, применяемые в обогащительном деле.

При незначительном весе проб весь просеиваемый материал пропускается через проволочную сетку, натянутую на дно квадратных ящиков размеров 20 × 20 × 10 см или 30 × 30 × 15 см. Для просеивания мелкого и тонкого материала в конечных стадиях измельчения (от 4 мм и мельче) пользуются стандартным набором лабораторных сит.

Перемешивание. Перемешивание перелопачиванием обычно производится при весе проб свыше 2—3 т. В этом случае вокруг кучи рудного материала, подлежащего перемешиванию,

становятся несколько рабочих, которые забирают материал лопатами из разных мест кучи и пересыпают его на другое место, образуя новый конус. Операция повторяется несколько раз до получения однородной (на вид) смеси.

Способ кольца и конуса (рис. 94) широко применяется при весе проб меньше 2—3 т. Сущность его заключается в следующем.

Материал пробы насыпают в виде кольца на специально устраиваемую ровную площадку (при малом весе проб — на стол), тщательно очищенную от остатков предыдущей пробы.

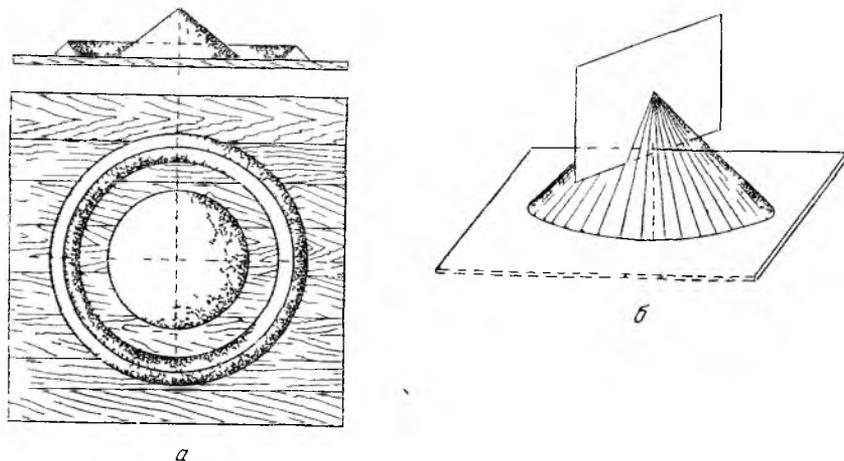


Рис. 94. Перемешивание пробы способом кольца и конуса

а — общая схема перемешивания, б — разворачивание конуса в диск при малых пробах

Затем кольцо породы пересыпают в центральную коническую кучу, забирая лопатой или совком небольшие порции материала с самого низа по внутренней стороне кольца и обходя последнее по окружности, пока вся проба не будет пересыпана в конус. Затем конус с помощью доски, а при небольшом весе пробы с помощью пластинки разворачивают в диск, который снова пересыпают в кольцо, затем кольцо опять пересыпают в конус и т. д. до получения однородной смеси. Весь процесс повторяют два-три раза.

Сокращение. Наиболее распространенным способом сокращения проб является способ **квартования**. По этому способу сокращаемая проба после перемешивания способом кольца и конуса разворачивается в ровный диск одинаковой толщины; затем диск при помощи крестовины, а при малых пробах при помощи пластинки делится по двум взаимно перпендикулярным диаметрам на четыре равные части, или квадранта. Два противоположных квадранта выбрасываются, а два других оставляются в качестве сокращенной пробы. Эта операция и составляет один прием сокращения путем **квартования**. Сокращенная проба снова перемешивается, разворачивается в диск и сокращается вторично тем же способом и т. д. до

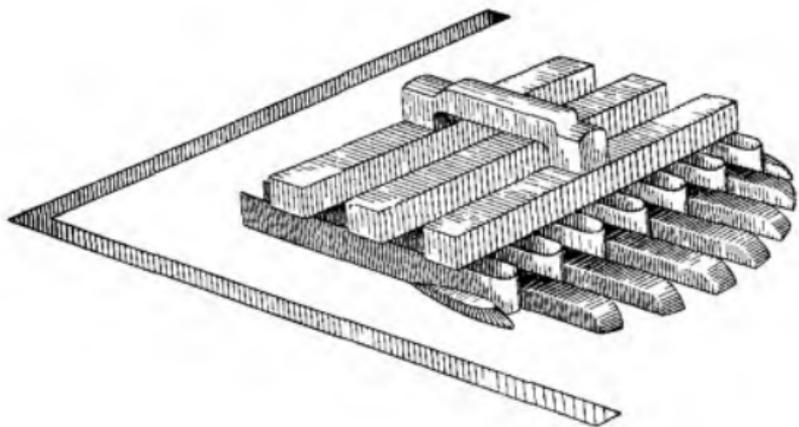


Рис. 95 Прибор С М Коломенченко для сокращения проб



Рис. 96 Сокращение пробы делителем Джонса

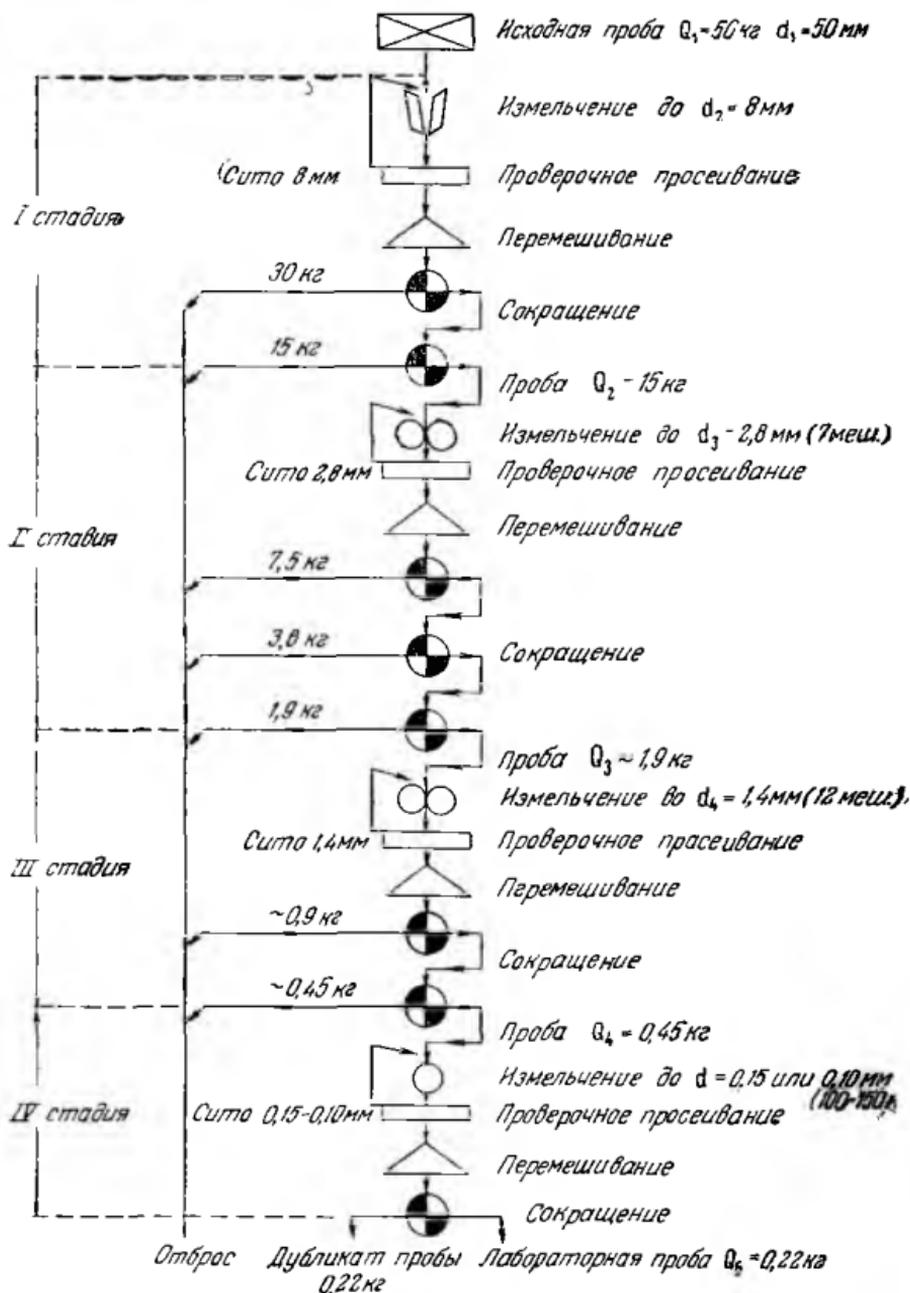


Рис. 97. Схема обработки проб

получения предельного веса пробы, соответствующего данной стадии измельчения.

При последнем сокращении в конечной стадии обработки остаются обе расквартованные части пробы: одна из них направляется на испытание в лабораторию, а другая сохраняется в качестве контрольной (дубликат).

Пробы весом 2—3 т сокращают перелошачиванием, разделяя пробу лопатами на две (или более) кучи, одна из которых остается в качестве сокращенной пробы, или предложенным Н. В. Барышевым способом полного вычерпывания, аналогичным описанному выше одноименному способу пробоотбора. К недостаткам этого способа относятся трудоемкость процесса сокращения и необходимость в опытных рабочих.

Всемерного одобрения заслуживает способ сокращения, предложенный С. М. Коломейченко. По этому способу сокращение осуществляется с помощью делительного совка (рис. 95) на специальном столе с двумя взаимно перпендикулярными щелями.

Предназначенную для сокращения пробу высыпают на стол, перемешивают и выравнивают, придавая ей форму диска. На подготовленную таким образом пробу накладывают делительный совок и перемещают в направлении одной из щелей в столе, в которую сыпается половина материала. Для двукратного сокращения совок следует повернуть на 90° , наложить на оставшиеся полоски пробы и переместить в направлении другой щели.

Когда это возможно, следует сокращать пробы при помощи делителя Д ж о н с а (рис. 96), обеспечивающего значительную экономию времени, по сравнению со способом квартования, и достоверную точность.

Все работы по обработке проб — дробление, грохочение, перемешивание и сокращение — в полевых сезонных партиях производятся на специально оборудованных площадках, а в стационарных разведочных партиях и на действующих рудниках следует организовать специальную опробовательскую лабораторию с бетонным полом и устроить при ней склад для хранения дубликатов проб.

Условия производства работ могут быть весьма различными, и стандартных схем обработки проб предложить невозможно. Ход составления конкретной схемы обработки проб с начальным весом $Q = 60$ кг, на основании формулы $Q = Kd^2$ при $K = 0,2$, показан на рис. 97.

3. ИСПЫТАНИЯ ПРОБ

Испытания, которым подвергаются пробы, отбираемые в процессе разведки месторождений, можно подразделить на следующие группы:

1) спектральные полуколичественные анализы, выполняемые с целью определения всех элементов в рудах (а также некоторые другие скоростные методы);

2) химические анализы, производимые для определения содержания полезных компонентов и вредных примесей;

3) минералогические исследования, имеющие целью установление минерального состава, размеров зерен, структуры и текстуры полезного ископаемого;

4) технологические испытания (в том числе и россыпного материала), выполняемые для выяснения наиболее эффективного способа переработки полезного ископаемого;

5) технические испытания, направленные на определение некоторых физических свойств полезного ископаемого, что необходимо главным образом для выяснения его качества и горнотехнических условий эксплуатации месторождения, а также для подсчета запасов.

В последнее время, кроме обычных химических анализов руд, стал применяться ряд скоростных методов аналитических определений: капельный, колориметрический, нейтронный, полярографический, радиометрический, спектральный и некоторые другие.

Спектральные анализы. В СССР наиболее распространен спектральный метод исследований, особенно полуколичественный, хотя за последние годы больших успехов достиг и количественный спектральный анализ.

Полуколичественный анализ является основным средством исследований полезного ископаемого в стадиях поисков и поисково-разведочных работ, а порой даже в стадии предварительной разведки. Такое широкое распространение спектральные анализы получили не только благодаря своей относительной дешевизне, скорости, точности, простоте и универсальности; этому способствуют также возможность одновременного определения многих элементов свыше 32), удобство хранения фотопластинок, малое количество необходимого для анализа материала и многие другие преимущества.

Спектральный метод дал возможность навсегда избавиться от обычного недостатка геологоразведочных работ прошлого: незнания комплексного состава руд. Незнание некоторых компонентов в комплексной руде нередко приводило к большим осложнениям. В настоящее время при большом спросе на редкие и рассеянные элементы незнание полного элементарного состава руд было бы особенно нетерпимо. Очевидно, в будущем с расширением сферы применения количественных спектральных анализов роль их еще более возрастет.

Химические анализы. Химические анализы массовых проб являются основой для подсчета запасов руды и заключенных в ней металлов. Они должны выполняться с максимально возможной точностью. При этом следует иметь в виду, что одна и та же (в процентном выражении) ошибка в определении содержания полезных компонентов менее ощутима для богатых руд, которые, несмотря на ошибку, остаются объектом промышленного использования, чем для бедных, которые в результате этой ошибки могут быть незаслуженно отнесены в разряд непромышленных руд со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Аналитические пробы основных неметаллических и металлических руд, кроме золотых и платиновых, могут быть небольшого веса, так как размер непосредственно анализируемых навесок, как правило, не превышает 5 г. Если учесть нередкую необходимость производства химических определений по двум параллельным навескам, порчу части из них во время аналитической работы, а также обязательность сохранения в лаборатории остатков аналитических проб, то оптимальным весом их следует считать приблизительно 30—50 г. Для золотых и платиновых руд веса аналитических проб в соответствии с размерами навесок (25—100 г) следует принимать равными 250—500 г.

Крупность рудного материала аналитических проб зависит от характера руд; она принимается равной 0,07—0,15 мм (200—100 меш.). Указанные веса аналитических проб и крупность рудного материала во всех случаях необходимо согласовывать с лабораториями, производящими анализ.

Перед производством химических анализов на попутные компоненты их содержание должно быть определено полуколичественным спектральным анализом во избежание излишних затрат на более дорогие химические исследования.

При наличии достаточно надежной корреляционной зависимости между двумя или несколькими компонентами руд, когда величина коэффициента корреляции r приближается к единице, можно значительно сократить количество анализов на попутные компоненты и вычислять содержание последних по содержанию основного компонента. Подсчет запасов попутного компонента, выполненный на основании тесных корреляционных связей, может быть не менее точен, чем подсчет, основанный на результатах анализов каждой пробы, так как при малом содержании попутных компонентов в рудах точность химического определения этих элементов невелика. Наличие надежных корреляционных связей между компонентами устанавливается экспериментально по каждому типу руды на характерных участках месторождения.

В каждом отдельном случае необходимо производить минимум определений, который, однако, удовлетворял бы полностью все требования проектирующих и производственных организаций в отношении характеристики качества полезного ископаемого.

В условиях поисково-разведочных работ, задачей которых является выяснение целесообразности постановки на данном объеме разведочных работ, решающее значение имеет определение содержания промышленно ценных компонентов. В связи с этим в каждой отдельной пробе чаще всего определяются лишь промышленно ценные компоненты; прочие компоненты определяются главным образом по групповым пробам, составляемым из остатков лабораторных проб.

В стадии разведочных работ большое внимание нужно обращать на полезные и вредные примеси. При этом также могут быть широко использованы групповые пробы, однако число и групповых, и инди-

видуальных (необъединенных) проб, в которых определяются упомянутые примеси, должно быть достаточным для выявления пространственного распределения сортов руд.

Группировать следует пробы по отдельным интервалам выработок или целым выработкам (восстающим, гезенкам, штрекам, ортам, квершлагам и скважинам) с учетом горизонтальной и вертикальной зональности распределения минеральных ассоциаций и других геологических особенностей, а также локализации различных технологических сортов руд. Анализ групповых проб не исключает производства соответствующих определений по индивидуальным и объединенным пробам; он лишь дополняет их.

При установлении количества компонентов, подлежащих определению в каждой индивидуальной и объединенной пробе, а также при решении вопроса о возможности использования и назначения групповых проб, нужно учитывать промышленный тип месторождения и принятую систему разведочных работ. Наряду с этим подлежат учету условия производства работ (разведочные, подготовительные или очистные работы) и обычно зависящая от них степень изученности месторождения. Чем выше степень изученности месторождения, тем шире могут быть использованы групповые пробы.

При определении требуемой точности анализов следует считать рациональным учет степени представительности проб: анализы менее представительных проб могут производиться с меньшей точностью, чем анализы более представительных проб. Заказчик должен сообщать химико-аналитической или пробирной лаборатории все известные ему данные о составе проб и указывать допустимые размеры случайных погрешностей анализов.

Во всех случаях нужно помнить о дешевых полуколичественных спектральных анализах, которые должны опережать передачу проб на химический анализ.

Минералогические исследования. Минералогические исследования (кроме решения геолого-минералогических задач в процессе разведки) могут применяться:

- 1) для предварительного разделения руд на сорта, соответственно их природным типам и предполагаемым технологическим свойствам;
- 2) для корректирования результатов химических анализов;
- 3) для расчета фазовых анализов.

В начальной стадии разведки, до выполнения первых лабораторных исследований обогатимости руд, для выделения участков, где должны отбираться технологические пробы, необходимо подвергнуть минералогическому изучению различные типы руд. Выяснение минерального состава руд, размеров зерен и структур дает возможность прежде всего различать руды окисленные, полуокисленные (смешанные) и первичные. Кроме того, в пределах каждого такого типа руды могут быть выделены участки сравнительно простых и более сложных по составу руд (медные и медно-молибденовые, вольфрамитовые и вольфрамито-шеселитовые и т. п.). Затем в пределах одного и того же типа руды можно выделить более богатые

и менее богатые по содержанию полезных компонентов участки значительных размеров. Наконец, различная крупность минеральных зерен и их сочетания (структуры) или сочетания агрегатов (текстуры) могут послужить основой для разделения руды на сорта в зависимости от технологических схем обогащения.

Существенное значение имеют минералогические исследования проб, предназначенных для фазовых анализов, а также исследования отдельных фракций проб, подвергаемых различного рода переработке (обогащению, магнитной сепарации и т. п.).

При разведке многих месторождений редких и благородных металлов (касситеритовых, пеелитовых, золотых) с малым содержанием полезных минералов в рудах большое значение приобретает шлиховый анализ протолок, т. е. минералогический анализ шлихов, отмытых из материала измельченной пробы.

Особую роль минеральный состав и физические свойства минералов играют в установлении технологических сортов нерудных полезных ископаемых.

Технологические испытания. Пробы руд отбираются для технологических испытаний на обогатимость или переработку. Результаты этих испытаний используются (кроме разведки и подсчета запасов) при проектировании новых и при реконструкции действующих фабрик и заводов. От них зависит эффективность капитальных затрат и нормальная работа построенных предприятий.

Технологические испытания полезных ископаемых производятся в различных стадиях их разведки от поисково-разведочных работ вплоть до начала эксплуатации.

В процессе поисково-разведочных работ, чаще всего в конце их, или в самом начале предварительной разведки эти испытания становятся необходимыми: 1) при благоприятной геологической обстановке и при прочих условиях, позволяющих форсировать промышленное освоение объекта, или 2) когда возможность освоения сырья с технологической точки зрения не выяснена даже приблизительно.

Необходимость производства технологических испытаний в поисково-разведочной стадии или в самом начале предварительной разведки можно иллюстрировать на примере медистых песчанков Каргалинского месторождения. Несмотря на относительно высокое содержание меди (1,6—1,7%), эти песчаники совершенно не поддавались обогащению в связи с тем, что рудные минералы (карбонаты меди) представлены в них землястыми разностями, тонко распределенными в глинистом веществе, цементирующем песчаник. Естественно, что неизученные руды нужно начинать исследовать заблаговременно.

В стадии поисково-разведочных работ и в начале стадии предварительной разведки обычно производятся предварительные технологические испытания в лабораторных условиях.

В результате лабораторных технологических испытаний руд в процессе предварительной разведки важно установить, насколько

правильно выделены сорта полезного ископаемого по данным минералогических исследований и общим геологоструктурным соображениям. При этом может оказаться, что на некоторых участках месторождения, различных по количественному содержанию или по комплексам полезных компонентов, выделять сорта руд нецелесообразно. Или, наоборот, однотипную с виду руду вследствие разных соотношений минералов, требующих применения различных схем обогащения, рационально расчленить на два сорта (например, руды с преобладанием шеелита и руды с преобладанием вольфрамитов). Особенно важно установить не только качественные, но и количественные соотношения различных минеральных форм промышленного металла в руде, так как от этого зависят размеры извлечения и потери металла в отходах (хвостах).

При детальной разведке, когда производятся полужаводские или заводские технологические испытания различных, уже установленных сортов руды, главной целью является установление качественных и количественных показателей обогащения: процента извлечения полезного компонента и величины потерь в хвостах. Эти показатели особенно важны для оценки руд месторождений с малой концентрацией полезных минералов.

В условиях действующего рудника технологические испытания производятся в связи с изменением характера полезного ископаемого при переходе работ на более глубокие горизонты или на другие участки по простиранию. В таких случаях технологические испытания руд необходимы для составления проекта реконструкции процесса их обработки или переработки.

Технические испытания. Технические испытания проб, выполняемые в процессе разведочных работ, целесообразно разделить на три группы:

- 1) испытания, необходимые для подсчета запасов;
- 2) испытания, необходимые для выяснения горнотехнических условий эксплуатации месторождения;
- 3) испытания, необходимые для определения качества минерального сырья.

Испытания, относимые к первой группе, также используются для выяснения горнотехнических условий эксплуатации, но разведчику они нужны прежде всего для подсчета запасов. Поэтому, если испытания второй группы могут проводиться в конце разведки, то испытания, необходимые для подсчета запасов, должны выполняться в самом начале разведочных работ (хотя получаемые данные обычно впоследствии уточняются).

К первой группе испытаний относятся определения объемного веса, влажности и иногда пористости как средства контроля определения объемного веса. Эти показатели не требуют определения в специальных лабораториях. Способы таких испытаний весьма просты и общеизвестны.

Среди технических испытаний второй группы наибольшее значение имеют определения кусковатости руд, коэффициента

разрыхления, пористости, твердости, пластичности, вязкости, сопротивления раздавливанию, степени размокания и набухания (для рыхлых глинистых руд). Такие испытания физико-механических свойств руд (и частично вмещающих горных пород) выполняются в специальных лабораториях.

Испытания, составляющие третью группу, сугубо индивидуальны для каждого вида полезного ископаемого, так как методы и задачи этих испытаний определяются видом и назначением минерального сырья (прозрачность оптических кристаллов, твердость абразивов, оттенки цвета минеральной краски, сопротивление раздавливанию строительного камня, теплотворная способность минерального топлива и т. д.). Они в большинстве случаев составляют предмет специальных исследований, сущность которых освещается в соответствующих прикладных дисциплинах, изучающих условия применения и использования того или иного минерального сырья.

4. ОБРАБОТКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОБ, ОТОБРАННЫХ ИЗ РОССЫПЕЙ

Обработка разведочных проб. При опробовании россыпей на анализ направляются не пески, а обогащенный промывкой материал — шлихи. Промывка проб состоит из трех последовательных операций:

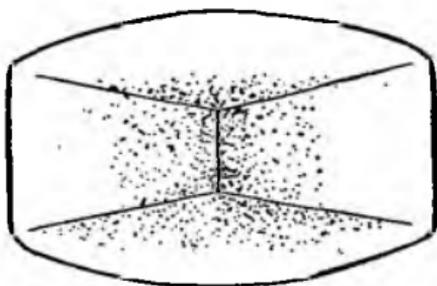


Рис. 98. Деревянный лоток корейского типа

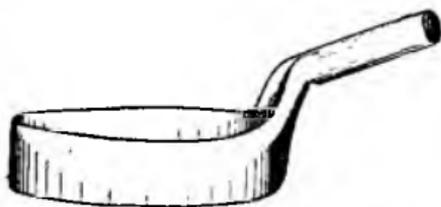


Рис. 99. Большой азиатский ковш

отмучивания (отделения глинистого материала и отбрасывания крупных кусков), отмывки мелких частиц минералов с небольшим удельным весом и доводки шлиха.

Потери полезных минералов при промывке на лотке (рис. 98) или в ковше (рис. 99) колеблются в весьма широких пределах. Поэтому необходимо механизировать обработку разведочных проб, а также повысить степень извлечения ценных металлов и минералов из опробуемого материала независимо от субъективных качеств исполнителей.

Обработка алмазосодержащих песков является особенно сложной и ответственной операцией. Каждая разведочная проба обрабатывается отдельно. От каждой пробы отбирается часть объемом 1—3 м³

(для богатых россыпей — меньше 1 м³) и по ней определяется содержание тяжелой фракции по классам крупности, выход шлиха, гранулометрический и петрографический состав песков и степень их промывистости. Обработка алмазонасных песков включает четыре основные операции: 1) промывку, 2) грохочение, 3) концентрацию и 4) извлечение алмазов. Промывка производится с помощью мониторов или на бутарах: при этом высвобождается зернистый материал крупностью от 0,2 до 0,16 мм, где сконцентрированы практически все алмазы.

Технологические исследования проб. Золото, заключенное в россыпях, по технологическим свойствам разделяют на три вида:

- 1) свободное шлиховое золото, извлекаемое промывкой;
- 2) свободное тонкое золото (плавучее), плохо улавливаемое промывкой и извлекаемое отсадкой и амальгамацией;
- 3) связанное золото, определяемое пробириым анализом.

Такая технологическая классификация россыпного золота тесно связана с геологическими факторами образования россыпи, формой нахождения металла в коренном месторождении (крупная вкрапленность в кварце или тонкое прораствание с сульфидами) и условиями перемыва и перетложения аллювиального материала, слагающего россыпь.

Отбор проб для технологических исследований проводится бороздовым способом в шурфах. Из каждого шурфа берется одна частичная проба; общее количество их должно быть не менее 8—10. На объектах массовой дражной или гидравлической добычи борозда проводится по всей толще рыхлых отложений.

Материал для пробы на технологические испытания может быть взят также из выдаваемой при проходке шурфа породы после сокращения ее путем отбора *n*-й лопаты.

Технологические исследования имеют целью:

- 1) определение содержания ценного компонента в песках раздельно по его технологическим видам с изучением форм и размеров кристаллов;
- 2) выявление сопутствующих полезных компонентов и определение их содержания;
- 3) выбор рациональных способов извлечения полезных компонентов для разработки схемы и оптимального режима процесса извлечения.

Выход всех продуктов в процессе технологических испытаний пробы тщательно фиксируется для последующего составления баланса по золоту в опробуемом материале с разбивкой его по видам.

Вторая задача технологических исследований — выявление сопутствующих полезных компонентов — решается путем изучения шлиха.

Технологические исследования проб касситеритовых и редкометальных россыпей имеют целью тщательное изучение минерального состава песков, выявление крупности зерен полезных минералов и степени связи их с породой.

Объем пробы, предназначенной для технологических исследований, надо рассчитывать исходя из того, что в нее должны попасть и крупные зерна полезных ископаемых, редко встречающиеся в данной россыпи. Поэтому вопрос об объеме пробы для каждой россыпи нужно решать отдельно в зависимости от ситовой характеристики материала россыпи и полезного ископаемого, вынимаемой в процессе текущего опробования месторождения. В сильно каменистых россыпях вес пробы необходимо увеличивать.

3. КОНТРОЛЬ ОПРОБОВАНИЯ

Погрешности опробования

В процессе опробования могут возникать многочисленные погрешности, начиная от момента отбора пробы и кончая последними операциями при ее испытаниях. Эти погрешности зависят от разнообразных причин методического и производственного характера.

Контроль опробования во всех случаях сводится к оценке расхождений между основными и контрольными данными. Для того, чтобы оценка была правильной, нужно иметь правильное представление о происхождении этих расхождений и владеть правильной методикой их интерпретации.

Все погрешности, возникающие в процессе разведочного опробования, подразделяются на две основные группы: 1) случайные и 2) систематические. Наиболее опасна систематическая погрешность, обуславливающая только завышение или только занижение искомым показателей, т. е. погрешность с одним знаком. Случайные погрешности, характеризующиеся переменным знаком, обычно в значительной части взаимно компенсируются и поэтому не оказывают существенного влияния на результаты массовых определений при опробовании. Но чем меньше количество проб, тем больше ощущается влияние и случайных погрешностей, особенно если они достигают больших величин.

Б. И. Галкин указывает четыре основные причины (или группы причин), порождающие расхождения между основными и контрольными данными.

Первая причина возникновения расхождений между результатами анализа сопряженных* проб заключается в наличии неустраняемой разницы между истинным содержанием определяемых элементов в основной и контрольной пробах.

* Под сопряженными пробами мы подразумеваем каждую пару проб, отобранную в одном и том же месте, например бороздovou пробу относительно большого поперечного сечения (10 × 5 см) и бороздovou пробу той же длины, но узкого сечения, отбитую по дну первой, или задирковую пробу и отобранную в центральной ее части бороздovou. Сопряженные пробы, состоящие из основной и повторной проб, отбиваются при экспериментальном и контрольном опробовании. В тех случаях, когда одна из бороздовых проб берется не по дну другой, а рядом, в 5—10 см (смежные пробы), их также, но в известной мере условно можно считать сопряженными.

Вторую группу составляют неизбежные случайные погрешности измерений при анализе, обусловленные несовершенством аппаратуры, человеческого глаза и т. д.

К третьей группе причин относятся разнообразные грубые ошибки и просчеты при анализах, описки, путаница в номерах проб и другие проявления небрежности работы исполнителей.

Четвертой причиной расхождения являются дефекты, свойственные в данных условиях тому или иному способу отбора проб, их обработки или анализа.

Расхождения, обусловленные грубыми промахами в работе, обычно легко обнаруживаются по их исключительной величине. Измерения, содержащие грубые ошибки, должны из расчетов исключаться.

Погрешности, вызываемые двумя первыми группами причин, являются случайными. При вычислении среднего содержания они в значительной степени взаимно компенсируются и на итоговых цифрах отражаются незначительно.

Погрешности, обусловленные дефектами способов отбора или анализа (а иногда и обработки проб), часто обладают, в отличие от случайных, однозначностью, вследствие чего они могут привести к серьезным ошибкам в общих выводах, например к незаслуженному отнесению некоторых участков к непромышленным или, наоборот, к неправильному включению в число промышленных тех участков, в которых содержание ценного компонента намного ниже кондиционного. Такие погрешности принадлежат к систематическим, и своевременное выявление их является важнейшей задачей контроля опробования.

Контроль отбора и обработки проб

При неудачно выбранном способе отбора проб может возникнуть систематическая погрешность. Так, опробование маломощных вольфрамовых жил валовым способом часто приводит к тому, что в пробу попадает значительное количество вмещающей породы и, таким образом, проба отражает состав не рудного тела, а рудной массы. На Никитовском ртутном месторождении установлено систематическое обогащение проб рудных жил, происходившее вследствие легкого выкрашивания киновари в процессе отбойки бороздовой пробы.

Кроме того, на качество опробования безусловно оказывает большое влияние соблюдение режима взятия пробы, квалификация и аккуратность лиц, отбирающих пробу, и другие производственные условия. Эти условия в большинстве случаев вызывают случайные погрешности, но могут и усилить влияние какого-либо природного фактора; например, если имеет место обогащение пробы за счет легко выкрашиваемых рудных минералов, то небрежная отбойка пробы может еще более ее обогатить и тем самым увеличить систематическую погрешность.

Все это указывает на необходимость контроля опробования уже в первом его звене — при отборе проб.

Контроль правильности пробоотбора при бурении должен осуществляться путем опробования рудных тел в сопряженных со скважинами горных выработках.

При расположении контрольных горных выработок, сопряженных со скважинами (или, что то же, при выборе скважин для контроля), надо иметь в виду необходимость охвата контролем главных типов руд с учетом их техникологических сортов, подлежащих выделению при подсчете запасов, а также содержания промышленно ценных компонентов, полезных и вредных примесей и особенностей физических свойств агрегатов минералов, которые могут обусловить систематическую погрешность пробоотбора (например, в связи с избирательным истиранием керна). Целесообразно располагать контрольные выработки равномерно в пределах площади распространения руд каждого типа или сорта.

Необходимое количество контрольных горных выработок или, что то же, количество подлежащих контролю скважин зависит от количества сопряженных проб, обеспечивающего надежность выводов по каждому типу руд, выделяемому для контроля.

Для очень мощных залежей однотипного минерального состава, строения и текстур можно ограничиться одной-двумя контрольными горными выработками, независимо от общего количества скважин. В данном случае основным критерием оценки результатов опробования будет не столько представительность выбранных для контроля скважин, сколько надежность их опробования. Гораздо более полный материал для суждения о правильности отбора проб можно получить, если выбрать, например, одну скважину с максимальным, а другую с минимальным выходом керна, а при равном выходе — скважину наибольшего и скважину наименьшего диаметра.

Для весьма мощных залежей разнотипного минерального состава, например, для некоторых штокверков меднопорфировых руд, можно ограничиться двумя-тремя контрольными горными выработками.

Следовательно, на месторождениях, представляющих мощными рудными залежами, необходимое количество контрольных проб можно взять из одной-трех горных выработок, независимо от общего количества контролируемых скважин, если, конечно, разрезы всех этих скважин и режим их бурения были идентичны.

Количество проб n , достаточное для надежного определения характера и вероятной величины погрешности пробоотбора по каждому из намеченных для контроля типу руд, определяется степенью неравномерности оруденения и нередко в еще большей мере — соотношением физических свойств рудных и нерудных минералов, а также благоприятных и неблагоприятных текстур руд.

Если содержание компонентов характеризуется случайным распределением (закономерность часто еще не вскрыта), то для ориенти-

рочных суждений о необходимом количестве контрольных проб можно пользоваться формулой (17):

$$n = \left(\frac{tV}{P_0} \right)^2,$$

- где t — коэффициент вероятности;
- V — коэффициент вариации содержания компонента, вычисленный по контролируемым пробам;
- P_0 — допустимая (заданная) погрешность пробоотбора в процентах к содержанию металла в опробуемой руде.

Так как других, теоретически разработанных методов решения этого вопроса нет, то значение n для данных условий может быть найдено только эмпирически. Этим путем установлены следующие цифры:

для равномерных руд	$n_1 = 15 - 20$
для неравномерных руд	$n_2 = 35 - 40$
для весьма неравномерных и крайне неравномерных руд	$n_3 = 50 - 60$

Н. В. Барышев предложил применять для контроля опробования по буровым скважинам только валовые пробы, особенно в случае неравномерного оруденения.

Б. И. Галкин рекомендует брать пробы в контрольных шурфах бороздовым способом. Он предлагает отбирать в каждой стенке две сопряженные пробы в форме точно выбитых борозд, площадь сечения которых приблизительно равна площади сечения скважины.

Таким образом, задачей контроля пробоотбора при бурении разведочных скважин является установление характера погрешности этого процесса (случайный или систематический). В случае выявления систематической погрешности (например, за счет избирательного истирания керна и неполадок с опробованием шлама и мути) необходимо определить поправочный коэффициент, представляющий собой отношение среднего содержания компонента в контрольных пробах к среднему его содержанию в контролируемых пробах.

Контроль пробоотбора в горных выработках на сложных по характеру оруденения месторождениях (особенно в тех случаях, когда среднее содержание промышленно ценного компонента в руде находится на границе между кондиционным и некондиционным) так же необходим, как и при бурении.

Рекомендуется экспериментально проверять применимость способа вычерпывания: параллельно с применением этого способа производится опробование заведомо точным в данных условиях способом, например бороздовым или валовым. Количество наблюдений (контрольных проб) определяется степенью неравномерности оруденения; при неравномерном оруденении их должно быть не менее 25, а при весьма неравномерном и крайне неравномерном — не менее 30—40.

Возможность обогащения или разубоживания проб, обусловленного неблагоприятным внутренним строением залежей, текстурными и физическими особенностями руд, проверялась и доказана применительно к точечному, бороздovому и задиpковому опробованию на нескольких объектах.

В весьма богатых золоторудных жилах повышенное, а иногда и очень высокое содержание золота приурочено к трещиноватым участкам и участкам брекчиевидной текстуры. При отбойке точечных проб в проведенных опытах богатый рудный материал выкрашивался интенсивнее среднего и бедного по содержанию золота материала. Бороздovое же опробование, поскольку на правильность поперечного сечения борозд было обращено особое внимание, к такому обогащению проб не приводило.

Задирковый способ опробования при разведке, а тем более при эксплуатации месторождений имеет весьма ограниченное применение и обычно используется в качестве контрольного. Однако, если не будет выдержана постоянная глубина задиpки, то контрольные задиpковые пробы могут оказаться менее точными, чем контролируемые (например, бороздovые), что было доказано экспериментально.

На некоторых месторождениях с неблагоприятным внутренним строением залежей и неблагоприятными текстурами руд контроль пробоотбора заключается только в проверке правильности отбойки борозд в процессе текущего опробования. Задача сводится к установлению характера и величины погрешности пробоотбора нормальными бороздами, отбиваемыми с осторожностью, возможной в производственной обстановке.

Контролируемые (основные) и контрольные пробы должны быть сопряженными. Если обе пробы отбиваются бороздovым способом, то борозды надо располагать так, чтобы основная (контролируемая) борозда оказалась внутри контрольной. Однако в ряде случаев возможно расположение контрольных проб в 5—10 см от основных при одинаковой длине тех и других.

В некоторых случаях контроль пробоотбора производится не сразу вслед за отбойкой контролируемых проб, а спустя некоторое, иногда относительно длительное время. В течение этого периода основная борозда может оказаться нарушенной. Наиболее неустойчивые по физическим свойствам рудные минералы могут осыпаться, оказаться выбитыми или вымытыми рудничными водами. Все это приведет к искажению контрольных проб при сопряжении их с основными и к неверным выводам о результатах контроля. Поэтому, если имеется хотя бы малейшее основание подозревать возможность искажения результатов опробования, следует применять иные способы отбора контрольных проб, в частности задиpковый.

Комбинировать широкие борозды с задиpковыми пробами на одном и том же типе руд не следует. Выбранный тип контрольной пробы должен сохраняться от начала до конца контроля.

Ширину контрольной борозды можно принять равной 20 см, глубину — 5 см. Таким образом, объем контрольной пробы будет

превышать объем контролируемой при поперечном ее сечении, например 10×5 см, только в два раза.

Глубина задривковой контрольной пробы 10 см. Меньшую глубину задривки прививать не следует, иначе трудно выдержать ее по всей площади.

При расположении контрольных проб надо стремиться к возможно более равномерному их размещению относительно вскрытой части месторождения и учитывать необходимость охвата контролем главных типов руд с точки зрения их текстуры, состава и содержания промышленного компонента (убогие, рядовые и богатые руды). Общее количество контрольных проб для каждого типа руд должно быть такое же, как и при контроле пробоотбора из скважины.

Главное условие успешного контроля — тщательность работы, которая обязательно должна выполняться под непрерывным наблюдением геолога. При отбойке широких контрольных борозд надо внимательно следить за точным соблюдением установленных правил. Постоянное сечение контрольной борозды необходимо строго выдерживать на всем ее протяжении. Глубина задривки должна быть постоянной по всей ее площади. В обоих случаях (т. е. при контроле широкими бороздами и задривковыми пробами) нельзя допускать даже малейших потерь и распыления отбитого рудного материала.

Обработка (сокращение) контролируемых и контрольных проб должна производиться по схеме, соответствующей одному и тому же значению K уравнения $Q = Kd^2$.

Особенно важно при этом избегать потерь при дроблении и распылении тонкого материала.

Опыт показал, что объективная интерпретация результатов контрольного опробования часто не только осложняется, но и исключается вследствие неудовлетворительного качества анализов. Поэтому анализы основных и контрольных проб следует производить не меньше, чем по двум параллельным зашифрованным навескам (для каждой пробы). Необходимо также, чтобы основные и контрольные пробы анализировались при одинаковых условиях: одним и тем же методом, при одном и том же размере навесок, одной и той же лабораторией и, если возможно, одним и тем же аналитиком.

Правильная интерпретация результатов контроля опробования требует тщательной геологической документации участков, на которых производились экспериментальные работы. Необходимо составлять геологические зарисовки в крупном масштабе, отражающие строение оруденелых зон во всех деталях, планы и разрезы соответствующих масштабов, а также отбирать образцы руд для минералогического изучения.

К о н т р о л ь о б р а б о т к и п р о б. При обработке проб обычно возникают случайные погрешности, но возможны и систематические погрешности вследствие избирательных потерь рудного материала. Существенные избирательные потери могут иметь место

главным образом в процессе обработки проб полезных ископаемых особенно с порошковатыми и землистыми разностями рудных минералов при небольшом содержании их в пробах.

Контроль химических анализов

Надежность определения полезных компонентов или вредных примесей химическими анализами устанавливается путем специальных контрольных мероприятий, обязательных при изучении качества полезных ископаемых, в особенности руд цветных, редких и драгоценных металлов. Такими специальными контрольными мероприятиями являются: 1) внутренние контрольные анализы и 2) внешние контрольные анализы.

Внутренний контроль осуществляется в той же лаборатории, где производятся массовые анализы разведочных проб, и выполняется путем повторного анализа некоторой части проб из материала дубликатов. При этом материал, направляемый на повторные анализы, зашифровывается: пробам присваиваются другие условные номера или буквенные индексы. Количество проб для внутреннего контроля должно быть таким, чтобы можно было сделать выводы о наличии и размерах случайной погрешности химических анализов.

Контрольные дубликаты проб должны подбираться группами по признакам общности минерального состава и содержания полезных компонентов или вредных примесей, т. е. по типам или сортам полезного ископаемого. Для каждого периода разведки месторождения должно выполняться не менее 15—16 контрольных анализов по каждому сорту полезного ископаемого.

Внешний контроль предназначается главным образом для выяснения систематических ошибок в работе лаборатории, выполняющей анализы массовых проб. С этой целью дубликаты проб, измельченные до 0,30—0,075 мм, посылают на анализ в контрольную лабораторию. При этом указывают минеральный состав и приблизительное содержание компонентов в каждой из проб, но не сообщают точных данных анализов каждой пробы, полученных в местной лаборатории.

Количество таких проб должно быть по каждому сорту полезного ископаемого не менее 15—20. Подбор их производится с таким расчетом, чтобы можно было осветить работу местной лаборатории последовательно по определенным календарным периодам. В дальнейшем это позволит дать дифференциальную оценку результатов анализов, полученных разведочной партией или геологоразведочным отделом от местной лаборатории за те же периоды. На действующем руднике такой контроль целесообразно осуществлять один-два раза в год.

В случае, если местная лаборатория работала с систематической ошибкой, контрольной лабораторией повторно сдаются дубликаты (измельченные до 0,15—0,10 мм) тех же и других проб в количестве

(30—40 и более), достаточном для определения поправочного коэффициента, который нужно вводить в результаты анализов, выполненных местной лабораторией.

Контроль работы местной химической лаборатории можно осуществлять также методом эталонных проб, предложенным в 1957 г. Н. А. Хрущовым. Сущность его заключается в следующем: составляются типичные для данного месторождения пробы, которые анализируются в нескольких лабораториях с максимально возможной точностью; затем материал этих проб в зашифрованном виде периодически сдается на определение в местную химическую лабораторию. Таким образом можно установить систематическую погрешность анализов местной лаборатории без привлечения внешних лабораторий на каждом этапе контроля.

Общее количество анализов внешнего контроля зависит от многих факторов и в первую очередь от числа типов руд, выделяемых по минеральному составу и по содержанию определяемых компонентов, от длительности периода накопления результатов опробования (анализов проб), положенных в основу генерального подсчета запасов, и от качества работы местной (контролируемой) лаборатории.

Заключительное звено контроля химических анализов разведочных проб состоит в сопоставлении результатов основных анализов с результатами анализов внутреннего и внешнего контроля по одним и тем же пробам.

В практике подсчета запасов это сопоставление часто выполняется упрощенным способом, сущность которого изложена ниже (по А. П. Прокофьеву).

Величина средней случайной погрешности определяется по данным внутреннего контроля как среднее арифметическое из отклонений индивидуальных проб без учета знака отклонений. Порядок сопоставления и произведения соответствующих вычислений виден из данных табл. 27. Нередко при определении величины случайной погрешности допускают ошибку, сопоставляя средние содержания по основным и контрольным анализам. В приведенном примере (табл. 27) разница между средними арифметическими по основным и по контрольным анализам составит $2,88 - 2,87 = 0,01\%$. Такой расчет вуалирует фактическую величину погрешности и не может быть признан правильным. Допустимые относительные величины средних случайных погрешностей в определении содержания компонентов для большинства полезных ископаемых установлены ГИЗ СССР и опубликованы в специальных инструкциях.

Величина средней систематической погрешности определяется путем сопоставления внешних контрольных анализов с основными, для чего составляется сравнительная ведомость (табл. 28). В тех случаях, когда выявлено наличие систематической погрешности, в зависимости от ее величины и знака (что особенно важно для руд с содержанием, близким к кондиционному), она может быть исправлена путем введения поправочного коэффициента. Однако для этого необходимо убедиться в том, что результаты внешнего

Определение величины случайной погрешности химических анализов

№ п/п	Содержание в %		Величина и знак отклонений	№ п/п	Содержание в %		Величина и знак отклонений
	по основным анализам	по контрольным анализам			по основным анализам	по контрольным анализам	
1	2,15	2,51	+0,36	19	2,86	3,15	+0,29
2	2,48	1,98	-0,50	20	2,42	2,64	+0,22
3	1,95	2,15	+0,20	21	4,01	3,95	-0,06
4	3,41	2,41	-1,00	22	2,09	2,22	+0,13
5	2,01	2,06	+0,05	23	2,47	2,23	-0,24
6	3,14	2,98	-0,16	24	3,81	3,56	-0,25
7	3,85	3,99	+0,14	25	4,12	4,01	-0,11
8	2,12	1,90	-0,22	26	3,56	3,21	-0,35
9	1,98	2,16	+0,18	27	2,87	3,12	+0,25
10	2,16	1,89	-0,27	28	2,35	2,96	+0,61
11	2,55	2,75	+0,20	29	2,71	2,98	+0,27
12	2,69	3,96	+1,27	30	3,83	3,41	-0,42
13	1,99	2,18	+0,19	31	4,31	4,18	-0,13
14	2,49	2,21	-0,28	32	2,75	3,28	+0,53
15	3,51	2,98	-0,53	33	1,98	2,08	+0,10
16	3,72	3,51	-0,21	34	1,89	2,09	+0,20
17	3,90	3,71	-0,19	35	3,21	3,02	-0,19
18	3,44	2,99	-0,45				
				Итого	100,78	100,41	10,75

Средняя абсолютная случайная погрешность $10,75 : 35 = 0,31\%$.

Среднее содержание по основным пробам $100,78 : 35 = 2,88\%$.

Среднее содержание по контрольным пробам $100,41 : 35 = 2,87\%$.

Средняя относительная случайная погрешность $0,31 : 2,88 \times 100 = 10,7\%$.

контроля достаточно точны, не содержат погрешностей и что выявленная систематическая ошибка действительно относится к работе основной лаборатории. Для этой цели должно быть произведено необходимое количество (не менее 30) контрольных арбитражных анализов тех же проб 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. Известны многочисленные примеры, когда арбитражные анализы подтверждают хорошую работу основной лаборатории

Сопоставление внешних контрольных анализов с основными *

№ п/п	Содержание золота в г/т		Величина и знак расхождений	№ п/п	Содержание золота в г/т		Величина и знак расхождений
	по основным анализам	по контрольным анализам			по основным анализам	по контрольным анализам	
1	4,5	5,1	-0,6	24	7,9	9,6	-1,7
2	0,8	1,9	-1,1	25	9,1	10,5	-1,4
3	2,0	3,4	-1,4	26	4,1	6,8	-2,7
4	3,6	4,1	-0,5	27	4,7	6,8	-2,1
5	0,2	1,4	-1,2	28	5,1	6,7	-1,6
6	4,5	5,6	-1,1	29	5,0	8,3	-3,3
7	1,6	2,6	-1,0	30	24,4	27,2	-2,8
8	2,2	3,1	-0,9	31	16,5	19,5	-3,0
9	1,8	3,0	-1,2	32	6,6	8,4	-1,8
10	2,4	4,2	-1,8	33	3,9	4,0	-0,1
11	7,6	8,5	-0,9	34	20,5	22,4	-1,9
12	1,9	2,9	-1,0	35	7,7	5,7	+2,0
13	3,2	4,8	-1,6	36	2,8	3,9	-1,1
14	2,6	4,3	-1,7	37	3,6	4,2	-0,6
15	2,1	3,1	-1,0	38	2,0	2,7	-0,7
16	9,0	10,2	-1,2	39	1,4	1,8	-0,4
17	3,8	6,5	-2,7	40	0,9	1,6	-0,7
18	4,7	5,9	-1,2	41	0,8	0,9	-0,1
19	18,7	20,7	-2,0	42	3,7	3,8	-0,1
20	5,5	7,3	-1,8	43	3,0	3,8	-0,8
21	8,8	9,5	-0,7	44	3,6	4,7	-1,1
22	13,8	15,0	-1,2				
23	12,7	13,9	-1,2				
				Итого	255,3	310,3	55,0

Среднее содержание по основным анализам $255,3 : 44 = 5,8$ г/т.

Среднее содержание по контрольным анализам $310,3 : 44 = 7,0$ г/т.

Среднее абсолютное отклонение основных анализов $55,0 : 44 = 1,2$ г/т.

Среднее относительное отклонение основных анализов $1,2 : 5,8 \times 100 = 20,7\%$.

* При составлении таблицы использованы данные Н. В. Барышева.

и вскрывают ошибку в работе контрольной лаборатории. Необходимо иметь в виду, что недостаточная точность работы основной химической лаборатории вообще приводит к снижению достоверности запасов, поэтому применения поправочных коэффициентов следует избегать.

Рассмотренные выше приемы обработки результатов внутренних и внешних контрольных анализов широко применяются в практике геологоразведочных работ, но они не являются абсолютно точными. В случае, когда приведенные выше практические приемы не дают убедительных результатов, более точно величины случайных и систематических погрешностей опробования можно определить методами математической статистики, которые требуют сложных расчетов. Наиболее известными являются способы, предложенные Н. В. Барышевым, А. А. Кренцом, Б. И. Галкиным и другими исследователями.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

**ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Запасы полезного ископаемого есть понятие геологическое и горнотехническое, отражающее не только тоннаж полезного ископаемого и ценных компонентов, но и весь комплекс черт, характеризующих геологическое тело с точки зрения формы, качества, условий залегания и условий ведения горно-эксплуатационных работ.

Подсчет запасов, являющийся конечной целью определенного этапа геологоразведочных работ на месторождении, предусматривает:

- 1) определение количества полезного ископаемого и всех заключенных в нем полезных компонентов;
- 2) качественную характеристику полезного ископаемого с подразделением на сорта;
- 3) характеристику пространственного распределения полезного ископаемого по месторождению в целом, а также по отдельным его участкам;
- 4) установление достоверности подсчитанных запасов (классификация запасов по категориям);
- 5) предварительное определение народнохозяйственного значения подсчитанных запасов.

Подсчет запасов определяет экономическую эффективность выполненных разведочных работ и дает материал для суждения о целесообразности и правильности произведенной разведки.

Потери, связанные с эксплуатацией месторождения (кроме нефтяных и газовых месторождений), а также с обработкой и переработкой полезного ископаемого, при подсчете запасов не учитываются, так как достаточно точный учет их без соответствующего проекта во многих случаях затруднителен, а иногда и невозможен. Учет потерь ведется проектирующими организациями и горными предприятиями на основании всех имеющихся данных о способах эксплуатации и обработки руд.

Геолог-разведчик определяет промышленные запасы полезного ископаемого без учета потерь и разубоживания, т. е. запасы, заключенные в недрах, которые обычно называются **г е о л о г и ч е с к и м и** и подразделяются на две группы: балансовые и забалансовые.

Б а л а н с о в ы м и (промышленными) называются запасы, пригодные для использования в народном хозяйстве при настоящем уровне техники и экономики.

Забалансовые (непромышленные) запасы — это запасы, которые могут стать промышленными в будущем, при разработке новых методов добычи, обогащения и переработки полезного ископаемого, а также в связи с изменением общих экономических условий района.

Общий подсчет запасов — весьма ответственная и сложная операция, требующая высокой квалификации от лиц, его выполняющих (напомним, что при подсчете запасов приходится использовать не только геологические, но также экономические и горнотехнические данные о месторождении). Сама техника подсчета, весьма мало влияющая на конечную точность получаемых цифр, должна быть максимально проста. Последнее требование важно еще и потому, что на действующих рудниках текущий, оперативный учет запасов в отдельных случаях поручается среднему техническому персоналу. Поскольку эти запасы являются основой эксплуатационной деятельности предприятия, способы подсчета, равно как и классификация запасов, должны быть просты и понятны не только геологам, но также специалистам-эксплуатационникам.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Запас полезного ископаемого Q в весовом выражении определяется произведением объема рудного тела или отдельного участка (блока) этого тела на объемный вес руды:

$$Q = Vd. \quad (21)$$

Запас полезного компонента P выражается произведением веса полезного ископаемого на среднее содержание в нем подсчитываемого компонента:

$$P = QC. \quad (22)$$

Объем тела или отдельного блока вычисляется как произведение площади (основания, среднего сечения, проекции на ту или иную плоскость и др.) на среднюю мощность:

$$V = Sm. \quad (23)$$

Таким образом, подсчету запасов предшествуют следующие операции:

- 1) вычисление площади тела S в пределах разведочного контура;
- 2) определение средней мощности тела m ;
- 3) определение среднего объемного веса d руды;
- 4) определение среднего содержания каждого компонента C .

Приемы измерения площадей, в частности с помощью планиметра, подробно рассматриваются в курсе геодезии. Отметим лишь, что для целей подсчета запасов с успехом можно пользоваться палеткой (рис. 100), цена квадратика которой определяется масштабом графики. Все неполные квадраты оцениваются

как половина целого квадрата. Когда площади подсчитываемых блоков ограничены прямыми линиями, хорошие результаты дает вычисление их площадей по простейшим геометрическим формулам.

Подсчет запасов должен, разумеется, базироваться на сопоставимых данных о мощностях и площадях подсчитываемых объектов. При вычислении площадей тел полезного ископаемого по горизонтальным и вертикальным разрезам нужно вводить поправку на угол наклона тела к плоскости проекции; вводят также поправки на угловое и азимутальное искривление скважин.

Для вычисления этих поправок применяются простейшие тригонометрические выражения.

Истинная мощность наклонно залегающего тела m_n равна:

$$m_n = m_v \cos \alpha = m_r \sin \alpha, \quad (25)$$

где m_n — мощность, измеренная по вертикали;
 m_r — мощность, измеренная по горизонтали;
 α — угол падения (наклона) тела.

Истинная площадь наклонно залегающего тела полезного ископаемого S_n и проекции этой площади на горизонтальную S_r и вертикальную S_v плоскости связаны соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} S_n &= S_r \sin \alpha \\ S_r &= S_n \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (26)$$



Рис. 100. Палетка для измерения площадей

Объемы тел находятся из выражения:

$$V = S_n m_n = S_r m_r = S_v m_v. \quad (27)$$

Наиболее простым лабораторным способом определения объема и веса является последовательное взвешивание штуфа в воздухе и в воде. По данным взвешивания легко вычислить объемный вес по формуле:

$$d = \frac{P_1}{P_1 - P_2}, \quad (28)$$

где P_1 — вес штуфа в воздухе;
 P_2 — вес штуфа в воде.

Образец пористой или сильно трещиноватой породы перед взвешиванием погружают в расплавленный парафин, чтобы сохранить его естественное состояние при погружении в воду.

Для определения пористости необходимо знать объемный (d_n) и удельный (d_s) веса исследуемого образца (удельный вес определяется одним из общеизвестных способов). Имея эти данные, пористость легко вычислить по формуле:

$$K = \left(1 - \frac{d_n}{d_s}\right) \cdot 100\%. \quad (29)$$

Влажность, свойственная всем горным породам, в случае значительной величины должна учитываться при подсчетах запасов. Кроме того, определение влажности добываемого полезного ископаемого важно для решения вопросов его транспортировки и складирования.

Вычисление влажности полезных ископаемых при подсчете запасов должно производиться по формуле:

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\%, \quad (30)$$

где P_1 — вес образца во влажном состоянии;

P_2 — вес образца после высушивания.

Поправочные коэффициенты. Применение разного рода коэффициентов при подсчете запасов является вообще нежелательным приемом, всегда указывающим на недостаточность, а иногда и на недоброкачественность исходных данных. Однако при подсчете запасов категории C_1 и особенно C_2 , когда материалов для подсчета запасов действительно мало, и в самых исключительных случаях при подсчете запасов категории В приходится прибегать к введению поправочных коэффициентов.

В том случае, если опыт детальной разведки и эксплуатации месторождения позволяет обоснованно судить о площади переживов, пустых безрудных участков, встречающихся внутри тела полезного ископаемого в данных геологических условиях, в подсчет запасов вводится поправочный коэффициент рудоносности. Под коэффициентом рудоносности понимается отношение длины (или площади) участков тела полезного ископаемого, имеющих промышленную ценность, к суммарной длине (или площади) всего тела в пределах контура подсчитываемого блока, включая части, не имеющие промышленной ценности по мощности или содержанию полезного компонента. Когда бесспорно доказана необходимость применения поправочного коэффициента к содержанию полезного компонента (из-за систематической ошибки химических анализов, избирательного истирания керна и других причин), вводить его нужно до оконтуривания промышленных руд. Введение поправочного коэффициента после оконтуривания руд может привести к искажению подсчета запасов и потере некоторой части балансовых руд.

Обоснование подсчета запасов приводится в объяснительной записке, которая должна содержать:

- 1) геологический очерк района месторождения;
- 2) геологическое описание месторождения, отражающее его основные особенности; форму, размеры, элементы залегания тел полезного ископаемого, минеральный состав, текстуры, типы и сорта полезного ископаемого и распределение их в пространстве;
- 3) документы, характеризующие степень изученности месторождения, журналы геологической документации горных выработок и буровых скважин, журналы опробования, данные контрольных анализов, данные определения удельного и объемного весов;

4) таблицы подсчета запасов для каждой отдельной выработки, для каждого блока и для месторождения в целом;

5) графический материал, включающий геологические карты и разрезы района и месторождения в количестве, достаточном для создания полного представления о морфологических особенностях и залегании рудных тел и вмещающих пород, а также погоризонтные планы горных выработок, колонки буровых скважин, поперечные разрезы и разрезы в плоскости залежей с нанесением мощностей и данных опробования, которые служат исходным материалом для оконтуривания месторождения и разбивки его на блоки;

6) общие соображения и расчеты, иллюстрирующие промышленное значение месторождения, а также данные технологических испытаний.

Кроме того, во всех случаях, когда это возможно, приводятся сравнительные данные по добыче и переработке руд, позволяющие судить о точности выполненных подсчетов. Дается исчерпывающая характеристика объемов и стоимости произведенных разведочных работ, опробования, указывается стоимость разведки единицы запасов разных категорий и стоимость перевода запасов из одной категории в другую.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО УЧАСТКАМ

Подсчет запасов обычно производится по отдельным участкам (блокам), на которые подразделяется каждое изучаемое тело. Вначале вычисляются средние показатели по отдельным выработкам, а впоследствии по ним подсчитывается среднее содержание полезных компонентов, средний объемный вес и средняя мощность для каждого блока.

Существуют два способа подсчета средних величин: способ среднего арифметического и способ среднего взвешенного. Обычно среднюю мощность тела полезного ископаемого, как и среднее содержание полезных компонентов, целесообразно определять методом среднего арифметического. Однако при малом количестве замеров может сказаться неравноценность отдельных измерений и тогда приходится пользоваться методом среднего взвешенного. Целесообразность «взвешивания» всегда нужно доказать. Применять взвешивание данных по каждой пробе можно по мощностям (m_1, m_2, \dots, m_n), по объемному весу (d_1, d_2, \dots, d_n) или по мощности и объемному весу ($m_1 d_1, m_2 d_2, \dots, m_n d_n$).

Таким образом, в наиболее сложных случаях формула для определения среднего взвешенного содержания полезного компонента ($C_{\text{ср}}$) будет иметь следующий вид:

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 d_1 m_1 + C_2 d_2 m_2 + \dots + C_n d_n m_n}{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \dots + d_n m_n}, \quad (34)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n — содержание полезного компонента в каждой пробе.

При колонковом бурении определение среднего содержания усложняется тем, что часть пробы бывает представлена керном, а другая часть — шламом. Чтобы определить действительное содержание полезного компонента C на опробованном интервале, нужно учесть обе части пробы

$$C = \frac{C'V_k + C''V_{ш}}{V_c}, \quad (32)$$

где C' — содержание полезного компонента, установленное по керну;
 C'' — содержание полезного компонента, установленное по шламу;
 V_k — объем керна;
 $V_{ш}$ — объем шлама;
 V_c — объем скважины.

Встречаются пробы, характеризующиеся исключительно высоким содержанием ценного компонента. Обычно это бывает при попадании пробы на гнездо очень богатой руды, имеющее весьма ограниченный размер. Исключать такие пробы из подсчета среднего содержания нельзя, ибо богатые гнезда влияют на конечную величину среднего содержания компонента в руде и на общую величину запасов. В то же время вводить такие пробы в подсчет среднего содержания по отдельным блокам также было бы неверно, потому что распространение пробы с исключительно высоким содержанием на полные объемы влияния, соответствующие единичной пробе, заведомо завышает среднее содержание полезного компонента по данному блоку. Упомянутые пробы характерны для месторождения в целом.

4. СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

После проведения на месторождении разведочных работ и построения контуров тела полезного ископаемого можно приступать к определению объема тела и отдельных его частей (блоков) и к подсчету запасов полезного ископаемого.

Подсчет объема тела полезного ископаемого, так же как и последующий подсчет запасов, можно произвести либо аналитическим либо графическим методом. Расхождение между действительным объемом рудного тела и объемом, определенным с помощью интерполяции и экстраполяции, всегда будет во много раз больше, чем те ошибки, которые возникают, если свести объем полученного оконтуриванием сложного тела к объему или сумме объемов примерно равновеликих простейших геометрических тел. Поэтому применение сложных математических приемов при подсчете запасов не оправдывается.

Иными словами, подсчет запасов — задача скорее геологическая, чем математическая, и состоит главным образом в том, чтобы, как можно правильнее с учетом всех геологических факторов произвести интерполяцию и экстраполяцию контуров. Расхождение

между действительным и подсчитанным объемом будет тем больше, чем более изменчива мощность месторождения и чем меньшим количеством выработок оно разведано. То же самое относится и к расхождению между действительными и подсчитанными запасами полезного ископаемого и его компонентов, на которое влияет степень изменчивости объемного веса и содержания компонентов.

В связи с этим при подсчете запасов целесообразно воздерживаться от применения точных аналитических методов, если они сложны, и использовать приближенные аналитические и графические методы вычисления запасов.

Каждый из рассматриваемых ниже способов подсчета запасов представляет собой прием, с помощью которого подсчитываемое тело сложной формы заменяется простым, по возможности равновеликим телом, объем которого определяется по элементарным формулам.

Выбор того или иного способа подсчета запасов определяется геологическими особенностями месторождения и применяемыми при его изучении системами разведки. При разведке месторождения комбинированными системами для подсчета его запасов обычно необходимо и комбинирование различных способов подсчета.

Не следует преувеличивать роль правильного выбора способа подсчета в получении точных цифр запасов. Опыт показывает, что главными причинами, вызывающими крупные ошибки при подсчете запасов, являются дефекты документации и неправильные геологические представления при интерполяции и особенно при экстраполяции. Можно утверждать, что при достаточном количестве доброкачественного фактического материала и при правильном понимании геологической обстановки почти любой способ подсчета дает близкие к действительности результаты; подсчеты, выполненные параллельно двумя или тремя способами, показывают в таких случаях незначительные расхождения. Применение параллельного подсчета двумя способами при этих условиях приобретает значение самоконтроля.

Огромный опыт, накопленный в СССР, показал, что при подсчете запасов целесообразно применять только те способы, которые, являясь простыми, в то же время позволяют максимально учитывать и отражать геологические особенности месторождений и применяемые на них системы разведки. Такими достоинствами в той или иной мере обладают способы среднего арифметического, блоков и разрезов, которые в последние годы почти полностью вытеснили из практики подсчета запасов другие ранее применявшиеся способы.

Способ среднего арифметического. Этим способом называются упрощенные приемы подсчета запасов, применяемые в тех случаях, когда месторождение разведано скважинами или горными выработками, пересекающими тело полезного ископаемого по мощности. Оконтуривание в этих случаях производится обычным способом. Средняя мощность тела полезного ископаемого и среднее содержание полезного компонента определяются как среднее арифметическое

из данных, полученных по всем выработкам в пределах внутреннего контура.

При подсчете запасов этим способом сложный контур рудного тела как бы приводится к равновеликой фигуре, имеющей форму пластины, площадь которой равна площади рудного тела, а мощность (толщина) соответствует средней мощности, вычисленной по всем разведочным выработкам (рис 101).

Основным преимуществом способа среднего арифметического является его простота. Он дает возможность быстро «прикинуть» величину запасов для ориентировочного представления о промышленной ценности месторождения и является единственным рациональным способом подсчета при незначительной разведанности

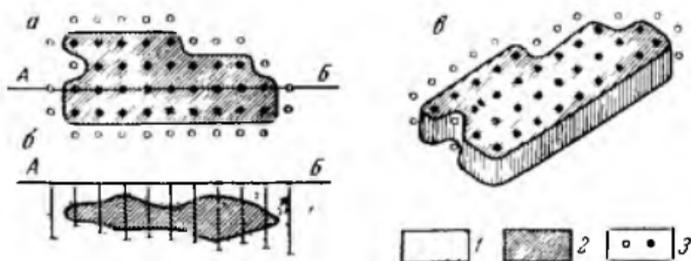


Рис 101. Схема преобразования формы рудного тела при подсчете запасов способом среднего арифметического (по А. П. Прокофьеву)

а — план рудного тела, б — разрез по линии АБ, в — аксонометрическая проекция преобразованного рудного тела

1 — вмещающие породы 2 — рудное тело, 3 — горные выработки черные — пересекающие рудное тело белые — рудное тело не встретившие

месторождения, когда применение других, более сложных способов нецелесообразно. При большом количестве частых, равномерно распределенных выработок или проб способ среднего арифметического дает вполне точные результаты.

К недостаткам этого способа относится невозможность получения данных о распределении сортов полезного ископаемого в пространстве и вообще подсчета отдельных участков и блоков.

Способы блоков. Способы геологических и эксплуатационных блоков характеризуются технической простотой расчетов, а также, что особенно важно, наибольшими возможностями учета и отражения геологических особенностей подсчитываемых месторождений и методов их разведки. Применение того или иного из этих способов зависит только от разведочной сети — от вида разведочных выработок, их расположения и плотности. Поэтому они обычно применяются совместно для подсчета запасов как различных участков месторождений, так и различных частей одних и тех же рудных тел. Графические построения подсчета в основном одинаковы.

Способ геологических блоков состоит в том, что общая площадь тела полезного ископаемого расчленяется на

части исходя из различий в вещественном составе или в элементах залегания тела полезного ископаемого на разных участках месторождения. Кроме того, различные подсчетные блоки выделяются по степени разведанности разных участков месторождений с отнесением их к соответствующим категориям запасов.

В общем случае при подсчете запасов способом геологических блоков площадь тела полезного ископаемого разделяется на отдельные участки — блоки и как бы преобразовывается в ряд сомкнутых пластин, высота которых равняется средней мощности тела полезного ископаемого в каждом блоке (рис. 102).

Способ геологических блоков применяется главным образом в начальных стадиях разведки месторождения, когда имеется еще немного данных по каждому участку. Поэтому обычно выделяются блоки крупных размеров (разбивка на участки). Чем больше по каждому подсчетному блоку имеется данных о мощности тела полезного ископаемого и о содержании полезных компонентов, тем точнее будут определены запасы. Следовательно, кроме геологических соображений, при выделении подсчетных блоков надо учитывать и расположение различных разведочных выработок с тем, чтобы каждый блок (участок) опирался на возможно большее число выработок.

Подсчет запасов в пределах каждого блока ведется способом среднего арифметического, или, если исходные данные по разным выработкам очень различаются, — способом среднего взвешенного. Общие запасы полезного ископаемого и его компонентов определяются суммированием запасов по блокам.

Главным достоинством способа геологических блоков является его простота и скорость. По сравнению со способом среднего арифметического он имеет то преимущество, что позволяет выделять различные типы и сорта полезного ископаемого в пространстве.

Недостаток способа геологических блоков состоит в том, что впоследствии, при подготовке месторождения к эксплуатации, приходится перестраивать все подсчетные блоки применительно к системе разработок и производить полный пересчет запасов.

Способ эксплуатационных блоков применяется при подсчетах запасов на конечных стадиях разведки, когда разведочные выработки уже очерчивают контуры отдельных эксплуатационных участков (блоков) с трех или четырех сторон

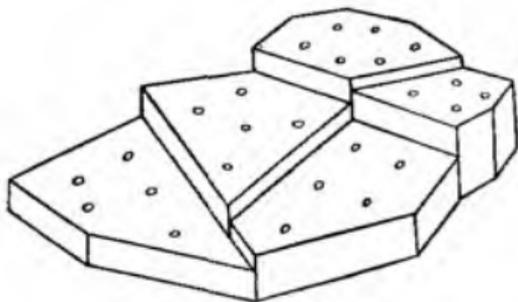


Рис 102 Схема преобразования формы тела полезного ископаемого в группу сомкнутых фигур различного размера при подсчете запасов способом геологических блоков (по В. И. Смирнову)

(рис. 103), причем изученность по оконтуривающим выработкам примерно одинаковая.

Объем тела в пределах оконтуренного блока равен

$$V = S \frac{m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_4 L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}, \quad (33)$$

где S — площадь блока;

m_1, \dots, m_4 — средняя мощность тела по выработке, оконтуривающей блок с одной из сторон;

L_1, \dots, L_4 — длина выработки.

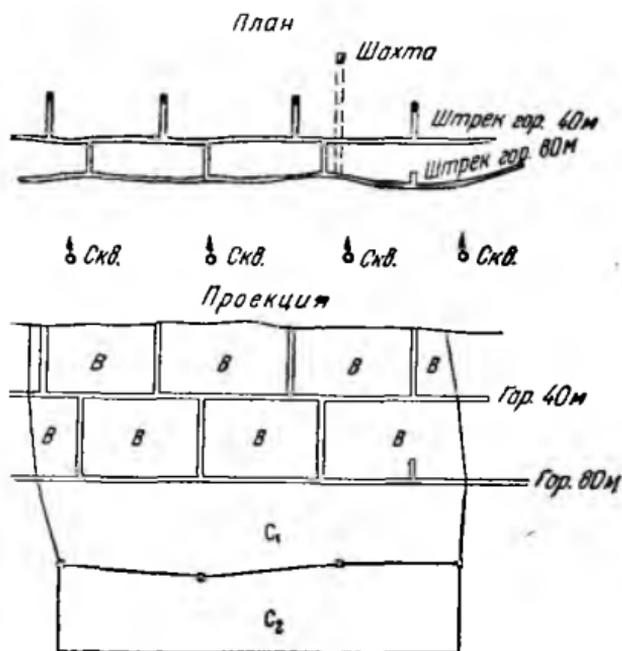


Рис. 103. План горных выработок по золоторудной жиле и проекция ее на вертикальную плоскость с построением блоков подсчета запасов

Запасы руды

$$Q = V \frac{d_1 m_1 L_1 + d_2 m_2 L_2 + d_3 m_3 L_3 + d_4 m_4 L_4}{m_1 L_1 + m_2 L_2 + m_3 L_3 + m_4 L_4}, \quad (34)$$

где d — средний объемный вес полезного ископаемого по выработке, оконтуривающей блок с одной стороны. Обычно он является единым для всего блока и даже для нескольких блоков.

Запасы полезного компонента

$$P = Q \frac{C_1 d_1 m_1 L_1 + C_2 d_2 m_2 L_2 + C_3 d_3 m_3 L_3 + C_4 d_4 m_4 L_4}{d_1 m_1 L_1 + d_2 m_2 L_2 + d_3 m_3 L_3 + d_4 m_4 L_4}, \quad (35)$$

где C — среднее содержание полезного компонента по выработке, околонтуривающей блок с одной из сторон.

Если блок околонтурен только с трех сторон, приведенные формулы сохраняют свою структуру, но теряют последнее слагаемое в числителе и знаменателе.

Данные подсчета запасов по эксплуатационным блокам непосредственно используются для планирования эксплуатационных работ.

Способ разрезов является основным способом подсчета запасов рудных месторождений, наиболее полно учитывающим их геологические особенности. При этом способе подсчета запасов рудные тела разбиваются на блоки, ограниченные геологическими разрезами, построенными по разведочным сечениям. В зависимости от ориентировки разведочных (и подсчетных) сечений различаются две разновидности способа — вертикальных и горизонтальных разрезов. При подсчете запасов по способу разрезов через разведочные выработки, расположенные примерно по параллельным линиям или на одних горизонтах, строятся соответственно вертикальные разрезы (сечения). На некоторых месторождениях расположение выработок позволяет применять подсчет и по вертикальным и по горизонтальным сечениям. В таких случаях предпочтение отдается той системе, которая больше отвечает требованиям эксплуатации.

Если месторождение разрабатывается по горизонтам, почти всегда удобнее выполнять подсчет по горизонтальным сечениям. Всякого рода наклонные сечения не рекомендуются, потому что данные по ним трудно практически использовать.

Разрезы расчленяют тело на блоки, причем два крайних блока с одной стороны ограничиваются плоскостью разреза, а с остальных сторон — неправильной поверхностью тела. Запас по этим блокам, заключенный между внутренним и внешним контурами, подсчитывается отдельно и обычно относится к более низкой категории.

Подсчету запасов по блокам и по всему телу полезного ископаемого предшествует подсчет по отдельным сечениям, заключающийся в определении запаса в ленте рудной залежи, толщина которой принимается равной единице (1 м), а площадь вычисляется исходя из фактической конфигурации тела в плоскости сечения (рис. 104).

Объем ленты залежи в каждом сечении V^I определяется как произведение площади тела полезного ископаемого в этом сечении

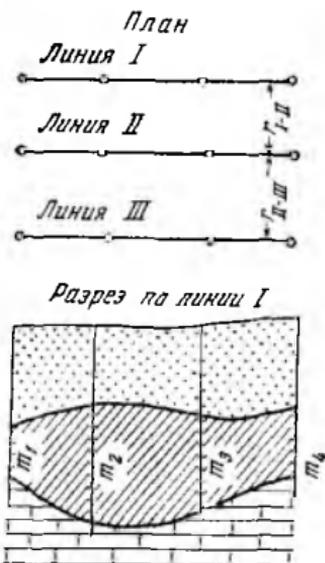


Рис. 104. Схема к подсчету запасов способом разрезов

S^I на единицу. Площадь S^I обычно измеряется планиметром.

Среднее содержание компонента в сечении определяется или способом среднего арифметического или, если это необходимо, способом среднего взвешенного:

$$C^I = \frac{C_1 m_1 + C_2 m_2 + \dots + C_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (36)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n — мощность тела в каждой данной выработке.

Запасы руды и полезного компонента в сечении залежи соответственно равны.

$$Q = V D^I; \quad (37)$$

$$P = V^I D^I C^I, \quad (38)$$

где D^I — средний объемный вес по сечению.

Величина D^I определяется как среднее арифметическое или, когда различия значительны, как среднее взвешенное

$$D^I = \frac{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \dots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}. \quad (39)$$

Объем, а также запасы полезного ископаемого и его компонента между двумя параллельными сечениями находятся как произведение полусуммы запасов, заключенных в обеих лентах, ограничивающих подсчитываемый блок, на расстояние между ними:

$$V_1 = r \frac{V^I + V^{II}}{2}; \quad (40)$$

$$Q_1 = r \frac{Q^I + Q^{II}}{2}; \quad (41)$$

$$P_1 = r \frac{P^I + P^{II}}{2}, \quad (42)$$

где r — расстояние между сечениями.

Применимость этих формул ограничивается теми случаями, когда объемы (запасы) двух соседних сечений различаются между собой не более чем на 40%. В противном случае подсчет объема (запасов) блока, ограниченного двумя сечениями, должен производиться по формуле усеченной пирамиды

$$V_1 = \frac{1}{3} r (V^I + V^{II} + \sqrt{V^I V^{II}}); \quad (43)$$

$$Q_1 = \frac{1}{3} r (Q^I + Q^{II} + \sqrt{Q^I Q^{II}}); \quad (44)$$

$$P_1 = \frac{1}{3} r (P^I + P^{II} + \sqrt{P^I P^{II}}). \quad (45)$$

На россыпных месторождениях (а иногда и на коренных) широко применяется следующий вариант рассматриваемого способа подсчета. Объемы (запасы), подсчитанные по разведочной линии, т. е. в пределах сечения, распространяются на ширину, равную полусумме расстояния до соседних линий, в одну и другую сторону. Этот вариант менее правильно отражает действительное распределение запасов в пространстве и может применяться только в случае сравнительно небольшой разницы в объемах (запасах) между соседними сечениями.

Принципиально аналогичен подсчет запасов по блокам, заключенным между внутренним и внешним контурами. В этом случае площадь тела в плоскости сечения, ограниченного, с одной стороны, выработкой, а с другой стороны — точкой выклинивания (или условной границей минимальной промышленной мощности), определяется исходя из мощности тела в крайней выработке, мощности тела на внешнем контуре и расстояния экстраполяции. Объем ленты залежи толщиной 1 м в плоскости сечения будет, очевидно, так же как и в ранее рассмотренном случае, численно равен площади этого сечения. Запас полезного ископаемого (и компонента) в сечении подсчитывается как произведение объема на объемный вес (и на содержание) по единственной выработке, ограничивающей сечение.

Иногда в целях осторожности, если для этого есть геологические основания, учитывая, что при выклинивании тела содержание полезного компонента (и соответственно объемный вес) довольно быстро уменьшается, данные по выработке уменьшают на 25—50%.

Описанный способ применяется в случае расположения выработок и скважин по параллельным разведочным линиям, а также, когда месторождение пересечено по простиранию выработки на нескольких горизонтах.

Способ параллельных горизонтальных сечений незаменим при подсчете запасов месторождений неправильной формы — труб, неправильных и изометричных метасоматических тел.

Пример применения способа вертикальных разрезов (Белорецкое месторождение)*. Район месторождения сложен осадочными отложениями ордовик-силурийского возраста и залегающими на них со стратиграфическим несогласием эффузивно-осадочными породами среднего девона. Породы собраны в складки, метаморфизованы и прорваны герцинскими интрузиями калбинского цикла.

Рудноскарновая зона, имеющая форму пластообразной залежи, приурочена к одному из горизонтов мраморизованных известняков с прослоями роговиков в среднедевонских эффузивно-осадочных отложениях. Наибольшая концентрация магнетита в пределах зоны отмечается в ее лежачем и висячем боках, где выделяются два рудных тела, разделенных прослоем безрудных и слабооруделых скарнов (рис. 105, 106).

* Излагается по материалам Е. Н. Коганова, Е. И. Володиной и др.

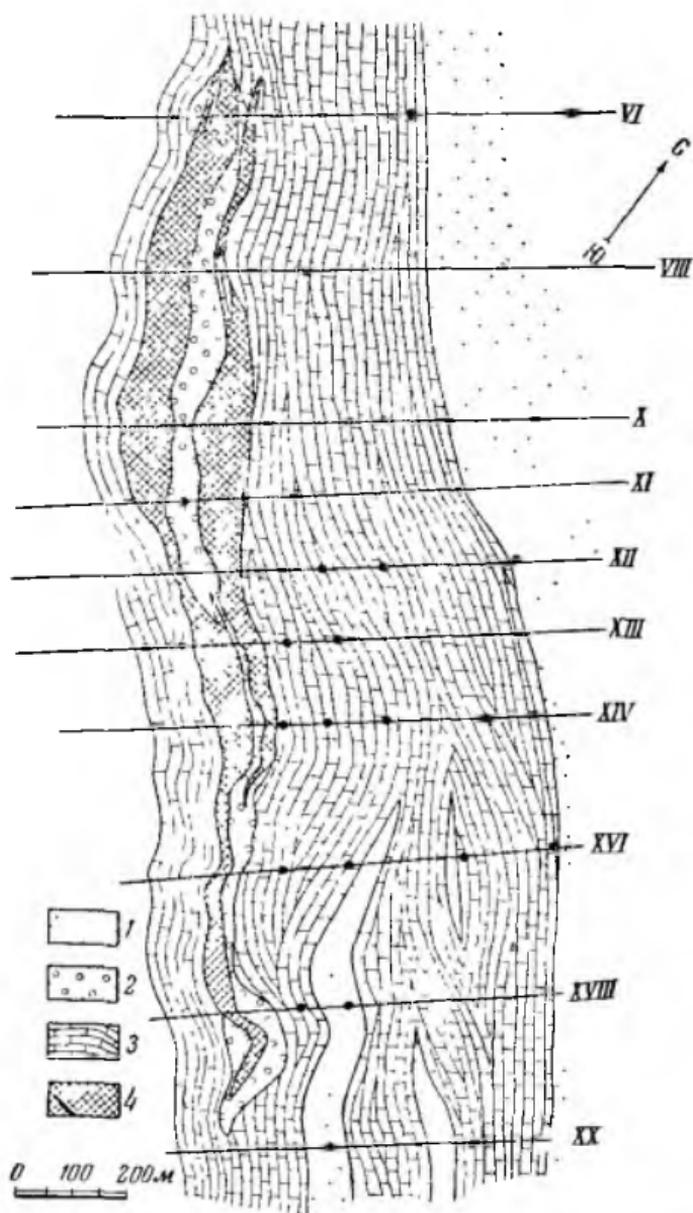


Рис. 105. Геологический план Белорецкого месторождения:

1 — оргогонизованные песчаники и роговики, 2 — кварцы, 3 — мраморизованные известняки с прослоями роговянов, 4 — магнетитовые руды. Римскими цифрами обозначены номера разведочных разрезов

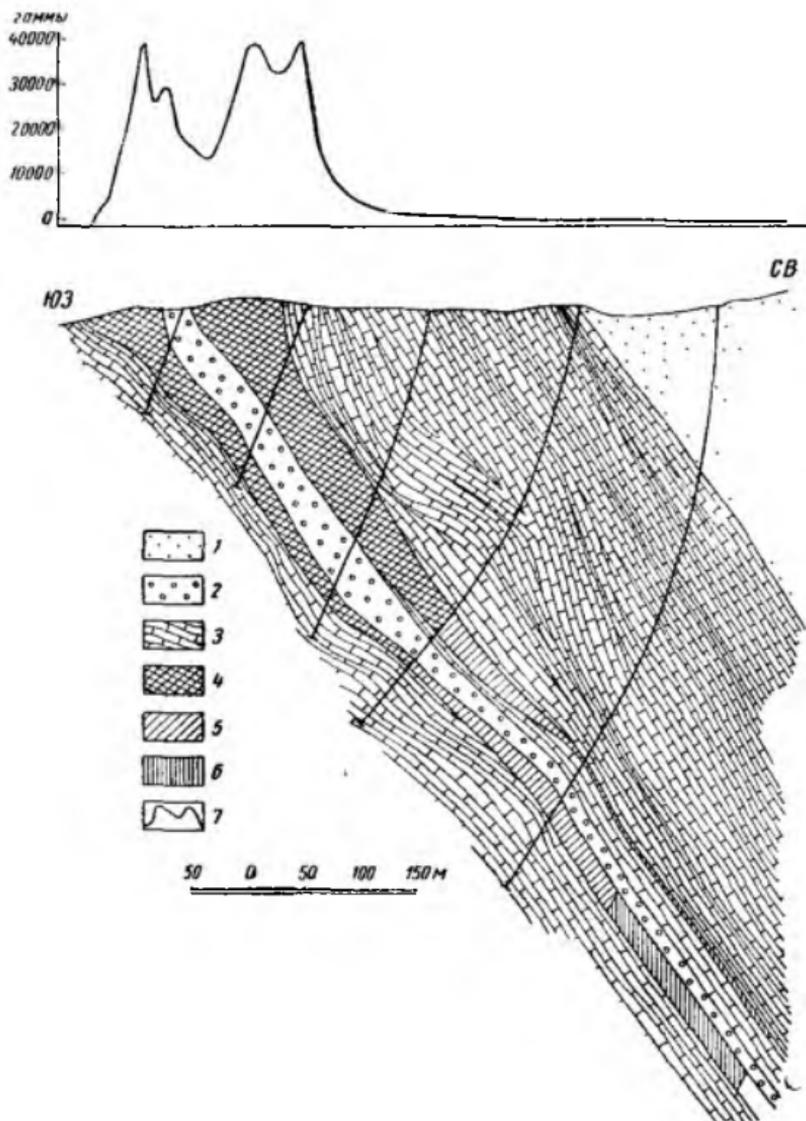


Рис. 106. Геологический разрез по линии X Белоредского месторождения

1 — орнаментированные песчаники и роговики, 2 — скарпы, 3 — мраморизованные известняки с прослоями роговики, 4 — магнетитовые руды в сечениях блоков категории В, 5 — то же, категории С₁, 6 — то же, категории С₂, 7 — кривая магнитометрической съемки по линии разреза

Рудные тела имеют форму уплощенных линз размером по простиранию 1360 и 1040 м, по падению 510 и 300 м и по мощности 20 и 22 м. Выклинивания рудных тел по падению не установлено.

Руды характеризуются средним содержанием железа валового 33,9%, серы 0,23%, кремнезема 26,5%, глинозема 2,75% и основной 17,2%. Они удовлетворительно обогащаются на магнитных сепараторах (извлечение 81%) и хорошо агломерируются. Суммарные запасы руд составляют около 120 млн. т, в том числе категорий В и С₁ — 90 млн. т.

Разведка месторождения производилась в две стадии. В стадии предварительной разведки рудные тела были вскрыты с поверхности серией параллельных канав, пройденных в среднем через 40 м, и пересечены на глубине единичными скважинами. Детальная разведка месторождения осуществлялась путем построения вертикальных разрезов по данным колонковых скважин глубиной до 450 м. Расстояние между разрезами в среднем 200 м, между скважинами по падению рудного тела — от 40 до 240 м.

На месторождении проведена детальная магнитометрическая съемка масштаба 1 : 2000 (сеть 20 × 10 м). Рудные тела выделяются четкой аномалией интенсивностью до 10—20 тыс. гамм, хорошо уязвляющейся с данными геологоразведочных работ.

Опробование рудных тел в канавах произведено бороздовым способом; сечение борозд 10 × 3 — 5 см, длина секций около 2 м. Длина керновых проб принималась равной мощности рудных интервалов, но не более 3 м.

Подсчет запасов выполнен способом вертикальных параллельных сечений с опорой на один разрез, т. е. объем руды вычислен путем перемножения площади сечения на полусумму расстояний до двух смежных сечений.

Минимальное содержание железа при подсчете принято равным 25%. Отдельно подсчитаны и отнесены к забалансовым запасы руд с содержанием железа 20—25%. Некоэффициентные прослои, а также прослои вмещающих пород мощностью до 2 м включались в подсчет балансовых запасов, если среднее содержание по выработке с учетом этих прослоев удовлетворяло требованиям кондиций. Минимальная мощность промышленных руд принималась равной 2 м. Подсчет произведен на основании 1350 рядовых и 65 групповых химических анализов.

Измерение площадей по сечениям выполнено планшметром, двукратным обводом каждого контура; все измерения проконтролированы вторым исполнителем. Объемный вес определен на основании 506 измерений, по которым был составлен график зависимости объемного веса от содержания железа в руде. Среднее содержание железа по скважинам в пределах отдельных рудных пересечений определялось как среднее взвешенное по длине проб, а по сечению (раздельно для каждой категории) — как среднее взвешенное по длине опробованных интервалов.

Оконтуривание блоков и категоризация запасов производились следующим образом. Запасы категории В выделялись только в жестком контуре разведочных выработок. Для категории C_1 допускались интерполяции контура рудного тела с выклиниванием его, как правило, на половине расстояния между разрезами и экстраполяция за пределы крайней скважины на 100 м. Возможность экстраполяции обоснована сохранением мощности рудных тел на глубине. К категории C_2 отнесены запасы блоков, примыкающих к блокам категории C_1 по падению; экстраполяция контуров запасов категории C_2 по падению допускалась до 200 м. Среднее содержание железа в блоках категории C_2 принималось равным содержанию его в примыкающих блоках категории C_1 , если оно не превышало среднего содержания по нижнему пересечению. В противном случае для блоков категории C_2 среднее содержание железа принималось равным среднему содержанию его по нижнему пересечению.

Выклинивание контуров балансовых и забалансовых запасов руд, а также линз пустых пород по падению и простиранию производилось в основном на половине расстояния между смежными выработками или разведочными разрезами. Кроме того, применялась отстройка контуров из расчета плавного выклинивания рудных тел и типов руд, причем для балансовых запасов минимальная истинная мощность принималась равной 2 м. При меньшей мощности запасы относились к забалансовым.

Пример применения способа горизонтальных разрезов (золоторудное месторождение). Золоторудная залежь (рис. 107) приурочена к зоне сильно трещиноватых, гидротермально измененных диоритов, в пределах промышленного контура интенсивно окварцованных. Границы рудного тела нечеткие и устаиваются только по данным опробования. В плане рудная залежь имеет линзовидную форму, длина ее по простиранию 180—266 м; мощность 15—62 м, в среднем 39 м; длина по падению свыше 300 м. Простирание залежи широтное, падение в верхней части вертикальное, на глубине — крутое ($80—85^\circ$), на север, общее склонение залежи западное под углом 75° .

Рудная залежь вскрыта шахтой и до горизонта 120 м отработана. Ниже, на горизонтах 180 и 300 м, она разведана ортами и горизонтальными скважинами подземного бурения (см. рис. 107).

Подсчет запасов произведен способом горизонтальных разрезов. Площадь рудной залежи на каждом горизонте определена с помощью планиметра. Среднее содержание золота для горизонтов вычислено как среднее арифметическое по всем выработкам каждого горизонта. Объем руды в блоках определен как произведение полусуммы площадей рудной залежи в смежных горизонтах на расстояние между ними. Среднее содержание золота в блоке вычислено как среднее взвешенное по площадям рудной залежи на подсчетных горизонтах.

Блок, высотой 60 м, разведанный ортами из полевых штреков на горизонте 120 м через 25 м и на горизонте 180 м через 50 м,

квалифицирован по категории В. Блок, высотой 120 м, заключенный между горизонтами 180 и 300 м, на которых рудное тело разведано ортами и скважинами подземного бурения через 50 м. отнесен к категории С₁. Блок категории С₂ экстраполирован на 120 м ниже блока категории С₁. Для этого блока средняя площадь поперечного сечения рудного тела и среднее содержание золота приняты равными таковым для горизонта 300 м.

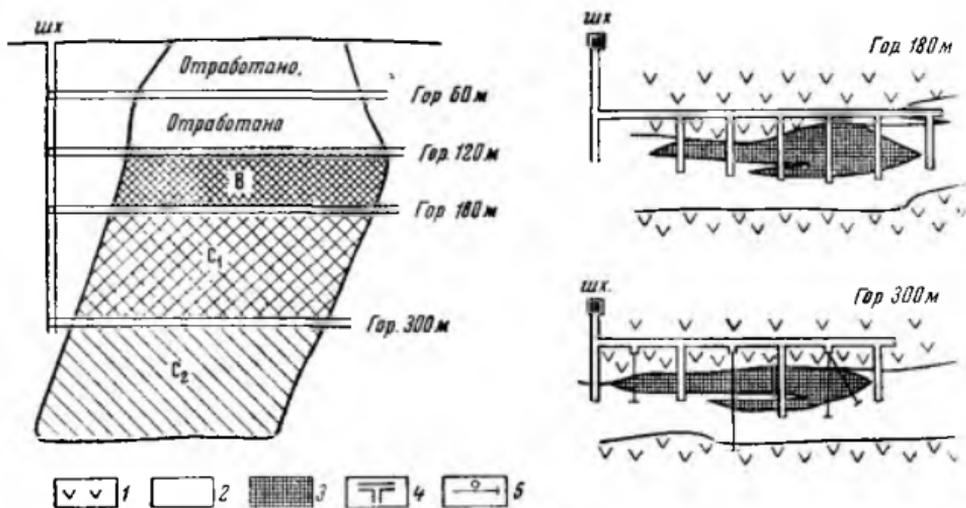


Рис. 107. Схематическая продольная проекция на вертикальную плоскость золоторудной залежи и планы разведочных горизонтов

1 — диориты, 2 — сильно трещиноватые гидротермально измененные диориты, 3 — интенсивно окварцованные измененные диориты, несущие золото (рудная залежь), 4 — подземные горные выработки, 5 — горизонтальные скважины подземного бурения

Прочие способы подсчета. В единичных случаях в последние годы для подсчета запасов применялись способы: статистический, изогипс и ближайшего района; способы треугольников и изолиний уже не использовались, не говоря уже о нескольких приемах, которые или давно устарели, или никогда не имели практического применения.

Статистический способ заключается в подсчете по данным разведки или эксплуатации выхода полезного ископаемого с единицы площади, который распространяется затем на всю минерализованную площадь. Таким путем определяется запас полезного ископаемого на 1 м углубки, который экстраполируется на предполагаемую глубину распространения минерализации. Этим способом были подсчитаны запасы пьезооптического кварца некоторых месторождений.

Способ изогипс, часто называемый способом В. И. Баумана, применяется для подсчета запасов выдержанных по мощности дислоцированных пластов каменного угля. Поверхности

плата изображается в плане в виде системы изогипс. Очевидно, объем участка, заключенного между двумя изогипсами, равен произведению его площади на мощность, которая определяется по разведочным (или эксплуатационным) выработкам как среднее арифметическое. Общие запасы вычисляются умножением суммы объемов таких участков на объемный вес угля.

С помощью способа изогипс возможно определение запасов только руды, подсчет запасов полезных компонентов в руде практически невозможен.

Способ ближайшего района, часто именуемый способом А. К. Болдырева, несмотря на свою простоту, имеет много

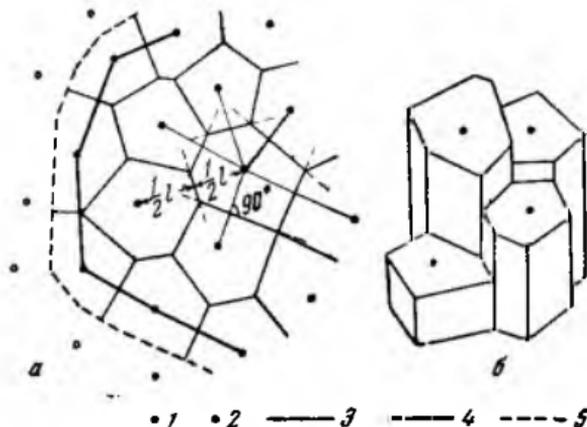


Рис. 108. Подсчет запасов по способу ближайшего района

и часть подсчетного плана с указанием способа построения многоугольника на примере одной выработки: 1 — выработки, вскрывшие полезное ископаемое; 2 — безрудные выработки; 3 — контуры подсчетных многоугольников; 4 — внутренний контур подсчета; 5 — внешний контур подсчета; б — разбивка рудного тела на сомкнутые призмы в аксонометрической проекции

недостатков и поэтому весьма редко используется для подсчета запасов рудных и нерудных месторождений.

По этому способу месторождение разбивается на ряд многогранных призм, соответствующих числу выработок, с таким расчетом, чтобы к каждой из последних отошел ближайший, тяготеющий к ней участок. Мощность, объемный вес и содержание компонентов для всей призмы принимаются по данным этой выработки. Высотой каждой призмы является мощность рудного тела в выработке, а основанием — построенный многоугольник (рис. 108).

Разбивка тела на многогранные призмы производится только в пределах контуров, установленных разведкой. Границы сортов, линии нулевого контура и контуры промышленной руды не могут быть определены построением многоугольников и должны быть проведены по данным разведки.

Для построения многоугольников каждую выработку соединяют прямыми линиями со всеми ближайшими выработками и из середины

соединительных линий восстанавливают перпендикуляры до взаимного пересечения (см. рис. 108). В результате получается многоугольник, любая точка внутри которого ближе к данной разведочной выработке, чем ко всем другим.

Запасы подсчитывают по каждой призме, а общие запасы разведываемого месторождения определяют как сумму запасов всех призм.

Способ не учитывает геологических особенностей месторождения, не дает представления о естественных условиях залегания рудных тел и их структурных особенностях. Разбивка рудного тела на серию многогранных призм сильно искажает его действительную

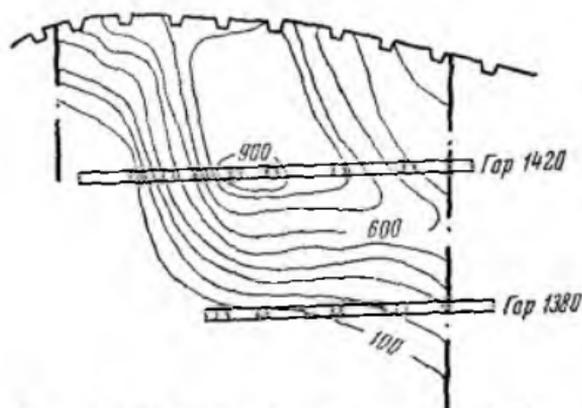


Рис. 109. Изображение флюоритовой залежи в изометрии метропроцента в проекции на среднюю плоскость залежи

форму. При большом числе подсчетных призм графические построения очень громоздки.

Способ треугольников является сугубо формальным и к тому же весьма трудоемким. При подсчете запасов этим способом проекцию контура рудного тела в плане с нанесенными выработками разбивают на треугольники путем соединения выработок прямыми линиями. В пространстве получается серия треугольных призм, усеченных не параллельно основанию. Ребрами этих призм служат разведочные выработки. Общий запас руды и металла определяется суммированием запасов всех призм.

Этот способ имеет те же недостатки, что и способ ближайшего района. К тому же расчетные операции, особенно для многокомпонентных месторождений, очень громоздки, так как каждая выработка участвует в подсчете не менее трех раз.

Способ изолиний (мощности, содержания и т. д.) очень широко используется в геологоразведочном деле как весьма ценный прием изображения изменчивости формы и свойств тел полез-

ных ископаемых, нередко позволяющий заранее предвидеть некоторые геологические явления.

При геометризации тела способом изолиний принимается предположение, что изменения формы (или свойств) тела происходят по законам плавности и непрерывности от одной выработки к другой.

Методы проведения изолиний ничем не отличаются от обычных методов проведения горизонталей рельефа при топографических работах. Расстояния между сечениями изолиний выбираются в зависимости от характера ископаемого, формы залежи, густоты разведочных выработок и прочих условий.

В качестве примера на рис. 109 изображена флюоритовая залежь в изолиниях метрпроцента (произведения мощности залежи на содержание CaF_2). Изолиния, равная 100, очерчивает промышленную часть залежи, ограниченную на флангах разрывными нарушениями.

Для подсчета запасов способ изолиний в последние годы практически не используется главным образом вследствие его трудоемкости, особенно в применении к многокомпонентным месторождениям, так как для каждого компонента необходимо строить свою особую систему изолиний. Способ практически непригоден для подсчета запасов по данным предварительной разведки (редкая сеть — мало данных), а также для тектонически сильно нарушенных месторождений.

5. О ТОЧНОСТИ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Расхождения между действительными и подсчитанными запасами полезного ископаемого в недрах обуславливаются, с одной стороны, степенью изученности месторождения, с другой — погрешностями, неизбежными при выполнении разведочных работ.

Погрешности подразделяются на две группы:

- 1) неизбежные технические погрешности*;
- 2) так называемые погрешности аналогий (интерполяции).

Следует отметить, что расхождения между действительными и подсчитанными запасами нередко могут быть весьма значительными. В связи с этим для упрощения вычислений при подсчете запасов, в том числе высоких категорий, целесообразно все цифры чисел после трех первых замечать нулями. Допускаемая при этом погрешность (0,1—1%) практически не влияет на точность подсчета запасов.

Технические погрешности могут быть: а) случайные и б) систематические.

Случайные погрешности вызываются отклонениями единичных определений тех или иных величин от действительного значения этих величин. При большом количестве измерений они взаимно

* Погрешности, связанные с ошибочными данными и приемами, здесь не рассматриваются, так как при правильной методике геологоразведочных работ их не должно быть, весь настоящий курс, по существу, имеет целью помочь избежать таких погрешностей.

компенсируются, так как вероятность отклонения от действительных величин в ту и другую сторону одинакова. Поэтому практически эти погрешности не оказывают существенного влияния на точность определения запасов.

Систематические погрешности обычно связаны с неустранимыми недостатками метода или технического приема. Учет их возможен путем контроля наблюдений другим методом (например, при бурении проходкой сопряженных горных выработок с целью определения поправочного коэффициента к данным скважин).

Систематические погрешности обладают способностью постоянно увеличивать или постоянно уменьшать действительные размеры наблюдаемых величин. В этом заключается их чрезвычайная опасность. Поэтому, если имеются подозрения на наличие систематических погрешностей, величина которых не установлена контрольными методами, категория запасов снижается, а иногда подсчет даже полностью бракуется.

Погрешность замера расстояний и площадей на чертежах обуславливается погрешностью самого графического материала, т. е. зависит от точности нанесения плана и разрезы положенных в основу данных и является случайной. Ощутимой, систематической погрешностью можно считать погрешность от сокращения или увеличения размеров чертежной бумаги или репродукции.

Кроме того, погрешность замера обуславливается погрешностью процесса измерения и в этом отношении обычно случайна. Она может колебаться при более или менее крупных масштабах графических материалов от десятых долей процента до 10% для единичного измерения. Так, например, при измерении линии длиной 100 м на плане масштаба 1 : 1000 с точностью до 1 мм погрешность измерения будет не более $\pm 1\%$; при измерении линии той же длины на плане масштаба 1 : 10 000 погрешность будет достигать $\pm 10\%$. При измерении площадей погрешность единичного определения обычно не превышает $\pm 5\%$ и является, как правило, случайной.

Погрешность замера мощностей при горных работах обычно является случайной; она может иметь и положительный и отрицательный знак. Величина погрешности при непосредственном измерении мощности в обнажении или в выработке незначительна и редко выходит за пределы $\pm 10\%$. Точность замера рулеткой составляет 0,01 м. Для тел с мощностью, например, 0,05 до 0,5 м погрешность единичного измерения может составлять $\pm 20\%$ в первом и $\pm 2\%$ во втором случае. Но так как эта погрешность является случайной, средняя мощность тела на некотором интервале будет определена со значительно меньшей погрешностью.

Иная картина создается при бурении, где погрешность часто бывает систематической. При неблагоприятных условиях погрешности замера мощностей по скважинам колонкового бурения выходят за пределы 30—40%, на угольных месторождениях погрешности иногда превышали 50%, а на рудных месторождениях зарегистри-

ровано много случаев полного пропуска сравнительно тонких жил. С применением каротажа скважин погрешность замера мощностей снижается до 0,05 м. При этом погрешность переходит в случайную и при большом количестве замеров сводится к очень небольшой величине.

Систематические погрешности определения мощностей (и расстояний) могут быть связаны также с искривлением скважин.

Погрешности опробования, входящие в группу технических погрешностей, касаются только погрешностей отдельных проб. Вопрос о распространении этих погрешностей на то или иное расстояние, равно как и о погрешности распространения данных измерения мощностей, будет рассмотрен ниже, так как все это — погрешности аналогии.

1. Погрешность отбора проб обычно является практически несущественной, случайной погрешностью. Иногда отбор проб сопровождается систематической погрешностью, приводящей к разубоживанию или обогащению проб.

2. Погрешность обработки проб является, как правило, случайной. Она зависит от принятой схемы и технических приемов обработки. Приемлемой схемой будет та, в основу которой положена точность, равная точности нормальной работы химической лаборатории.

3. Погрешность работы химической лаборатории складывается из двух погрешностей: погрешности взятия от пробы химической навески и погрешности метода анализа. Первая погрешность чаще всего случайная; величина ее, как правило, очень незначительна. Вторая погрешность обычно случайная, но нередко бывает и систематической и в этом случае чрезвычайно опасна, в особенности на убогих месторождениях.

4. Погрешность определения объемного веса и влажности в зависимости от метода определения обычно колеблется от 2 до 5%, но иногда достигает и больших размеров. Она может быть и систематической и случайной.

Погрешности аналогий (интерполяции) обусловлены тем, что при всякой интерполяции данных между точками наблюдений допускается, что форма и свойства тела изменяются по определенному закону. Чаще всего принимается, что изменение происходит равномерно и непрерывно и математически может быть выражено уравнением прямой (фактически изменение неизвестно).

Погрешности интерполяции являются погрешностями распространения средних значений мощности, объемного веса и содержания установленных по выработкам, на оконгуренный или блок.

Погрешности интерполяции подвержены довольно резким колебаниям и величина их зависит от характера месторождения, а также от густоты и равномерности разведочной сети и сети опробования. Под характером месторождения в данном случае подразумевается характер изменчивости мощностей и содержания полезных и вредных компонентов в различных направлениях.

Данные по ряду жильных месторождений показывают, что при подсчете запасов блока нормальных размеров, околуренного с двух (а тем более с трех-четырех) сторон горными выработками, в случае, если тело не выходит за пределы сечения выработок, погрешность определения средней мощности по выработкам обычно не превышает $\pm 15\%$, а на выдержанных по мощности месторождениях часто снижается до первых единиц процентов. В мощных телах с изменчивой на коротких расстояниях мощностью, когда среднее значение последней определяется по немногим ортам, средняя погрешность иногда может достигать $\pm 25\%$.

Поскольку колебания содержаний обычно гораздо значительнее колебаний мощности, постольку погрешность определения среднего содержания по выработкам может достигать больших величин, а при недостаточной густоте сети проб полученные данные вообще могут оказаться непригодными.

В совокупности те и другие погрешности интерполяции приводят к расхождениям между подсчитанными запасами и действительными. При этом, естественно, что по отдельным блокам расхождения будут достигать значительной величины и иметь положительный и отрицательный знаки, а по всему месторождению или большой группе блоков они будут в некоторой мере взаимно уравниваться и составлять значительно меньшую величину.

**ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**1. ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫХ РАБОТ**

На поисково-разведочной стадии используются геологические прогнозы и вообще все современные приемы и методы для установления промышленного типа месторождения. Вскрытие выходов полезного ископаемого дает внимательному и опытному исследователю примерное представление не только об их форме, но и о качестве. Последнее определяют или опробованием или путем минералого-структурного изучения. Появляются обоснованные не только качественные, но часто и количественные соображения о вторичной зональности, глубине вторичных зон, составе первичных руд и т. д.

На этой стадии обычно удается установить промышленный тип месторождения, что наряду с получением некоторых числовых характеристик позволяет достаточно определенно судить об изучаемом объекте и учитывать его запасы по категории C_2 . Конечно, большая часть данных, установленных при поисково-разведочных работах, является недостаточно достоверными. В очень многих случаях полученные материалы дают возможность создать несколько предположений (о форме, запасах, качестве полезного ископаемого), которые могут служить основой для различных вариантов промышленной оценки.

Как показал многолетний опыт, поисково-разведочные работы во многих случаях (примерно до 70% для эндогенных месторождений) дают возможность ориентировочно оценить, пригодно ли данное месторождение для промышленного использования или оно должно быть забраковано. В первом случае отпускаются средства на предварительную разведку месторождения. Следовательно, главной целью работ поисково-разведочной стадии является промышленная перспективная оценка месторождения на основе возможно более дешевых и кратковременных работ.

Назовем две разновидности метода оценочного сопоставления: 1) метод простых аналогий; 2) метод технико-экономических расчетов.

Метод простых аналогий имеет основное значение при поисково-разведочных работах. Сравниваются — отдельно или по методу вариантов — натуральные показатели разведываемого месторождения с показателями другого, ранее разведанного и

хорошо изученного аналогичного по типу месторождения (мощность, содержание полезного компонента, глубина залегаания, запасы).

В. И. Красников в 1956 г. предложил производить перспективную оценку разведываемого месторождения по пяти оценочным параметрам (масштаб месторождения, качество полезного ископаемого, продуктивность, горнотехнические условия, экономика района) с помощью 10-балльной шкалы. При этом каждый параметр приближенно подразделяется на три категории, которым придаются соответствующие баллы (табл. 29), и каждое месторождение оценивается суммой баллов.

Таблица 29

Оценочные параметры и их значение

Название параметров	Оценочные баллы		
	2	1	0
1. Масштаб месторождения	Крупный	Средний	Мелкий
2. Качество полезного ископаемого	Высокое	Рядовое	Низкое
3. Продуктивность* месторождения	Высокая	Средняя	Низкая
4. Горнотехнические условия эксплуатации	Особо благоприятные	Обычные	Неблагоприятные
5. Экономика района	Особо благоприятная	Обычная	Неблагоприятная

* Продуктивность определяется по количеству полезного ископаемого на единицу площади или объема месторождения.

По этому принципу все месторождения можно сгруппировать следующим образом:

- рядовые промышленные месторождения 5—6 баллов
- месторождения повышенной промышленной ценности 7—8 »
- исключительно ценные месторождения 9—10 »

Промышленная ценность месторождения характеризуется как сомнительная, если сумма баллов не превышает трех-четырех. Месторождения с меньшей суммой баллов должны определяться как непромышленные.

Такого рода оценки имеют качественный характер и допускают значительную субъективность подхода. Тем не менее на первых этапах для приближенной первоначальной оценки месторождения метод простых аналогий в том или ином виде безусловно может быть полезен.

Метод технико-экономических расчетов в его полном виде предполагает высокую степень изученности геологических особенностей месторождения и качества полезного иско-

паемого, а также различных условий, влияющих на работу горного предприятия. Поэтому наиболее полная оценка месторождения приводится по окончании его разведки, после проведения всех технологических испытаний и выяснения горнотехнических условий эксплуатации с учетом требований промышленности и народнохозяйственного плана. Все это отражается в техническом проекте эксплуатации месторождения, который является высшей формой его промышленной оценки.

В конечном счете оценка месторождения есть определение промышленного значения месторождения в данное время и при определенных географо-геологических условиях, т. е. определение возможности и целесообразности добычи и использования полезного ископаемого, заключенного в этом месторождении. Поэтому в результате технико-экономических расчетов она выражается, с одной стороны, в технических и технологических показателях, определяющих техническую возможность (или невозможность) добычи и использования полезного ископаемого, а с другой — в экономических показателях, определяющих целесообразность разработки месторождения.

Для весьма приближенной промышленной оценки месторождения на стадии поисково-разведочных работ, кроме геологоминералогических элементов, могут быть использованы два важнейших показателя: ориентировочная годовая производительность будущего горного предприятия и величина капиталовложений, необходимых для промышленного освоения месторождения. Эти показатели можно определить по эмпирическим формулам В. В. Померанцева (1961), которые выведены с помощью теории корреляции на основании статистической обработки показателей действующих и запроектированных горнообогатительных предприятий черной и цветной металлургии.

Годовая производительность подземных рудников* (в тоннах), по В. В. Померанцеву, для запасов (Z) до 100 млн. t руды может быть определена по формуле

$$A = k \sqrt{Z}, \quad (46)$$

где Z — запасы руды в тоннах;

k — коэффициент, зависящий от запасов руды и учитывающий срок существования рудника (табл. 30).

При открытых горных работах годовая производительность ($A_{г.н}$) рудников обычно определяется по горной массе. Для этих целей можно воспользоваться следующей эмпирической зависимостью:

$$A_{г.н} = 42 \lambda - 0,00001 \lambda^2, \quad (47)$$

* Годовую производительность можно установить и по сроку амортизации. К сожалению, срок амортизации пока установлен только для отдельных частных случаев.

где $A_{г, м}$ — в тоннах;

$л$ — средняя по глубине горизонтальная площадь карьера в $м^2$.

Для определения общей суммы капиталовложений на строительство горнообогатительных предприятий дветной металлургии в пределах от 1 до 6 млн. $т$ годовой производительности по руде, неза-

Таблица 30
Зависимость коэффициентов k от запасов руды

Запасы руды в млн. $т$	Коэффициент k	
	максимальный	минимальный
До 1	До 80	До 40
1—5	80—150	40—90
5—10	150—195	90—120
10—20	195—235	120—150
20—30	235—250	150—170
30—50	250—255	170—180
50—100	255—270	180—200

висимо от способа разработки месторождения, включая и затраты на жилищное и культурно-бытовое строительство, можно воспользоваться графиком В. В. Померанцева (рис. 110), а для предприятий производительностью до 1 млн. $т$ следующими эмпирическими формулами:

$$\left. \begin{aligned} K_{о, макс} &= 0,0340A + 6 \\ K_{о, мин} &= 0,0260A + 2 \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

где A — годовая производительность предприятия в тыс. $т$ руды;
 K_o — общая сумма капитальных затрат в млн. руб.

Эмпирические формулы В. В. Померанцева могут быть использованы для предварительной оценки месторождения и в процессе разведки с той лишь разницей, что при разведке величина запасов (Z) становится уже более достоверной по сравнению со стадией поисково-разведочных работ. Следовательно, и результаты вычислений в период разведки должны иметь большую и все возрастающую точность.

Кроме того, в процессе разведки появляется возможность выяснить и другие технические и экономические показатели, которые приводятся ниже.

1. Объемный коэффициент вскрыши (v_o), необходимый для определения способа разработки месторождения (подземный или открытый),

$$v_o = \frac{O_k - O_p}{O_p} \quad (49)$$

где O_k — объем карьера в $м^3$;

O_p — объем руды, добываемой из этого карьера, в $м^3$.

Открытый способ разработки рационален для железорудных месторождений при $v_0 \leq 10-20 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и для месторождений цветных металлов при $v_0 \leq 20-30 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

2. Возможность переработки (или прямого использования) полезного ископаемого, определяемая по средним значениям вещественного состава и других качественных показателей полезного ископаемого. Вначале оценка базируется на простом сравнении качества разведываемого полезного ископаемого с аналогичным, хорошо изученным минеральным сырьем других действующих горнорудно-металлургических предприятий. Затем эти показатели уточняются

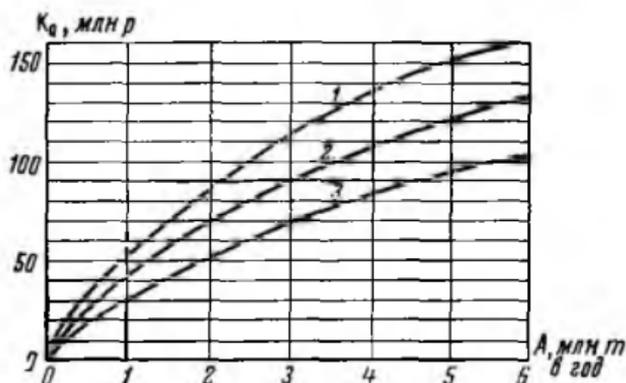


Рис. 110. Зависимость общей суммы капитальных затрат от годовой производительности (по руде) горнорудных предприятий цветной металлургии для трудных (1), средних (2) и легких (3) условий строительства

лабораторными и полужаводскими опытами. Для руд, способ технологической переработки которых неизвестен или возможность его применения сомнительна, еще на стадии предварительной разведки нужно проводить лабораторные испытания.

3. Экономические показатели: ценность полезного ископаемого и себестоимость его эксплуатации.

Ценность 1 т руды (Π_p) определяется по формуле

$$\Pi_p = \frac{1-y}{100} \sum_1^k \Pi_x \cdot \bar{n} \cdot \epsilon, \quad (50)$$

где k — число полезных компонентов в руде;

Π_x — цена 1 т металла в концентрате (в руб.);

\bar{n} — среднее содержание металла в руде (в %);

ϵ — коэффициент извлечения металла в концентрат (в долях единицы);

y — коэффициент разубоживания при добыче (в долях единицы).

Себестоимость добычи и переработки полезного ископаемого (С) приближенно может быть определена с помощью эмпирических формул В. В. Померанцева (в рублях на тонну), имеющих вид:

$$C = a + \frac{b}{A}, \quad (51)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты;

A — годовая производительность предприятия.

Формула (51) для определения себестоимости добычи 1 m руды подземным способом при годовой производительности рудников до 2 млн. m имеет вид:

а) для полиметаллических месторождений

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 5,0 + \frac{2000}{A_p} \\ C_{\text{мин}} &= 4,0 + \frac{1000}{A_p} \end{aligned} \right\} * \quad (52)$$

где A_p в тыс. m руды, C в руб.;

б) для медных никель-кобальтовых, вольфрамо-молибденовых и сурьмяных рудников

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 6,0 + \frac{1000}{A_p} \\ C_{\text{мин}} &= 2,8 + \frac{200}{A_p} \end{aligned} \right\} ; \quad (53)$$

в) для железорудных месторождений

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 1,3 + \frac{2000}{A_p} \\ C_{\text{мин}} &= 1,1 + \frac{1000}{A_p} \end{aligned} \right\} * \quad (54)$$

Для определения себестоимости добычи руд цветных металлов, при производительности рудников от 2 до 10 млн. m , можно воспользоваться формулами:

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 6,5 - 0,0001A_p \\ C_{\text{мин}} &= 2,9 - 0,0001A_p \end{aligned} \right\} * \quad (55)$$

При открытых работах себестоимость 1 m^3 вскрыши может быть определена по формулам:

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 0,8 + \frac{600}{A_m^3} \\ C_{\text{мин}} &= 0,2 + \frac{300}{A_m^3} \end{aligned} \right\} * \quad (56)$$

где A_m^3 в тыс. m^3 .

Себестоимость добычи 1 т горной массы:

$$\left. \begin{aligned} C_{\text{макс}} &= 3,5 + \frac{700}{A} \\ C_{\text{мин}} &= 1,9 + \frac{300}{A} \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

где A в тыс. т горной массы.

Для определения себестоимости обогащения 1 т руды при производительности обогатительной фабрики ($A_{o.ф}$ в тыс. т руды) до 3 млн. т в год формула (51) принимает следующий вид:

а) для полиметаллических руд

$$\left. \begin{aligned} C_{o. \text{макс}} &= 3,5 + \frac{850}{A_{o.ф}} \\ C_{o. \text{мин}} &= 2,5 + \frac{170}{A_{o.ф}} \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

б) для сульфидных медных, никель-кобальтовых, вольфрамово-молибденовых и сурьмяных руд

$$\left. \begin{aligned} C_{o. \text{макс}} &= 1,8 + \frac{610}{A_{o.ф}} \\ C_{o. \text{мин}} &= 0,8 + \frac{270}{A_{o.ф}} \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

Для обогатительных фабрик производительностью свыше 3 млн. т руды в год себестоимость обогащения 1 т руды может быть определена по формулам:

а) для полиметаллических руд

$$\left. \begin{aligned} C_{o. \text{макс}} &= 3,5 - 0,05A_{o.ф} \\ C_{o. \text{мин}} &= 2,5 - 0,05A_{o.ф} \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

где $A_{o.ф}$ в млн. т руды в год;

б) для медных, никель-кобальтовых и вольфрамово-молибденовых руд

$$\left. \begin{aligned} C_{o. \text{макс}} &= 1,8 - 0,05A_{o.ф} \\ C_{o. \text{мин}} &= 0,8 - 0,05A_{o.ф} \end{aligned} \right\} \quad (61)$$

Зависимость себестоимости обогащения железных руд от годовой производительности обогатительной фабрики ($A_{o.ф}$ в тыс. т руды) выражается формулами

$$\left. \begin{aligned} C_{o. \text{макс}} &= 1,5 + \frac{600}{A_{o.ф}} \\ C_{o. \text{мин}} &= 0,7 + \frac{200}{A_{o.ф}} \end{aligned} \right\} \quad (62)$$

По установленным таким образом экономическим показателям можно с большей или меньшей степенью вероятности определить

рентабельность будущего предприятия и эффективность капиталовложений. Эти данные и ложатся в основу сравнительной оценки, определяющей выгодность или невыгодность эксплуатации разведываемого месторождения по сравнению с другими горными предприятиями, занятыми добычей и переработкой аналогичного минерального сырья.

Предполагаемая рентабельность горного предприятия (П) находится путем сопоставления ценности полезного ископаемого (Ц_р) и себестоимости его добычи и переработки (С):

$$П = Ц_r - С. \quad (6.)$$

Положительная величина П указывает на вероятную прибыльность будущего предприятия, отрицательная — на убыточность.

Эффективность капиталовложений измеряется различными соотношениями. В процессе разведки предполагаемую эффективность капитальных затрат достаточно выразить в двух измерителях: Э₁ (в рублях на тонну запасов полезного ископаемого) и Э₂ (в рублях на тонну годовой добычи полезного ископаемого):

$$\left. \begin{aligned} Э_1 &= \frac{K}{З} \\ Э_2 &= \frac{K}{A} \end{aligned} \right\}, \quad (6.)$$

где К — капиталовложения в руб.;

З — запасы по сумме промышленных категорий в т руды;

А — годовая производительность предприятия в т руды.

Таким образом, в период разведки дается предварительная, приближенная промышленная оценка месторождения, на основе которой производится передача месторождения из ведения разведочной организации в распоряжение организации, ведающей эксплуатационными работами. Более точная и всесторонняя оценка месторождения дается по окончании всех разведочных работ и в процессе проектирования эксплуатации, когда учитываются уже общие государственные соображения и устанавливается очередность промышленного освоения разведанных месторождений.

Основные положения оценки месторождений цветных и черных металлов (Померанцев, 1961) применимы и к прочим полезным ископаемым. Специфические особенности последних влияют на величину коэффициентов в формулах; подбор этих коэффициентов производится или проектной организацией, или опытным коллективом геологов.

При оценке любых видов минерального сырья необходимо устанавливать достоверность сведений о месторождении и прежде всего достоверность разведанных запасов. Горно-техническая и технологическая части оценки сводятся к определению степени добываемости полезного ископаемого, а также степени его технической пригодности для промышленного использования. Экономическая часть оценки заключается в установлении эффективности разработки месторождения.

Являются общими для всех полезных ископаемых и измерители ценности (параметры) месторождений: размер запасов, предполагаемая производительность горнопромышленного предприятия, технологические показатели, себестоимость, капитальные вложения, их эффективность и рентабельность разработки месторождения. Но, очевидно, что значения и методика получения этих показателей будут различными в зависимости от особенностей оцениваемого полезного ископаемого.

Многие виды неметаллических полезных ископаемых имеют очень сложную технологию. Есть такие полезные ископаемые, например асбест или слюда, для которых важны не только физические свойства минералов и процентное содержание их в рудах, но также соотношение различных сортов (размеров) полезных минералов.

Оценка месторождений полезных ископаемых при экспертизах. Предполагается, что эксперт для проверки и систематизации сведений о месторождении, кроме основного, последнего отчета, изучает фондовые материалы, материалы проектирующих и эксплуатирующих организаций и с особым вниманием относится к промышленным условиям (кондициям) и их расчету.

При оценке месторождений необходим углубленный анализ достоверности данных по четырем главным группам вопросов: 1) геологическим, 2) горнотехническим, 3) технологическим и 4) экономическим.

Естественно, что главная задача геолога-эксперта заключается в анализе достоверности подсчитанных запасов руд и металлов. Для этой цели прежде всего необходимо проверить правильность расчета и применения промышленных условий (кондиций), обычно вычисляемых для разведки методом вариантов.

С анализом достоверности подсчитанных запасов руд и металлов неразрывно связано решение вопроса о перспективах месторождения на флангах и на глубине, определяющих обоснованность подсчета предполагаемых запасов. Особого внимания требует внутреннее строение рудных тел, главным образом изменчивость их формы и качества, а также проверка непрерывности рудных тел в контуре подсчета.

При экспертизе запасов проверяется достоверность химических и прочих анализов, вычисленных корреляционных зависимостей, графических построений и аналитических расчетов, а также технические погрешности разведки: погрешности замера мощностей, опробования и т. д. Самым главным вопросом является проверка достоверности цифр запасов как руды, так и металлов. Эти цифры желательно выражать в виде пределов — минимального и максимального.

К важнейшим моментам оценки относятся: 1) выяснение технической (горнотехнической и технологической) возможности использования месторождения в промышленных целях; 2) определение промышленной ценности руд; 3) установление профиля предприятия

и темпов его развития (состав предприятия, промышленная продукция, годовая производительность основных цехов, последовательность освоения бедных руд и др.); 4) определение объемов промышленной продукции и ее видов; 5) определение капитальных затрат на строительство предприятия и ожидаемой себестоимости продукции; анализ эффективности капитальных затрат (главным образом путем сравнения с аналогичными предприятиями). В этой работе наряду с геологами большое участие принимают горные инженеры, технологи и особенно горные экономисты.

В результате всего цикла работ должно быть установлено народнохозяйственное значение месторождения, в чем по существу заключается итоговая оценка. Перед этим экспертизой устанавливаются наиболее достоверные размеры запасов, рекомендуется профиль предприятия с главнейшими технико-экономическими показателями. Затем устанавливается роль предприятия в экономике района и в балансе полезных ископаемых страны. Наконец, предлагаются формы дальнейшего освоения месторождения.

2. КОНДИЦИИ

Проблема разработки промышленных условий (кондиций), при которых рудопроявления могут считаться промышленными месторождениями, возникает на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная от поисков и кончая рудничной геологией. На последней стадии кондиции нужны, чтобы различать балансовые руды, забалансовые руды и «пустые» породы (в которых оруденение ниже извлекаемого минимума). Установление кондиций предотвращает не только излишние потери в недрах, но и перерасход средств на разведку, добычу и переработку пустых пород.

Рассмотрим в качестве примера главнейшие кондиции, относящиеся к месторождениям цветных металлов: минимальное среднее содержание и связанное с ним бортовое содержание, нижний предел содержания полезных компонентов для оконтуривания забалансовых запасов и максимальный размер пустых пород, допустимый для включения их в рудную массу.

Предприятия по добыче руд цветных металлов (и многих других полезных ископаемых) обычно состоят из двух ведущих отделов: горного и обогатительного. Среднее содержание ценного компонента в руде для рентабельных предприятий не должно выходить за установленные пределы минимального среднего содержания. Без доказательств понятно, что величина этого среднего содержания определяется технологией и экономикой добычи и переработки руд. В число основных показателей работы предприятия входят ценность промышленной продукции (C_m), измеряемая отпускной государственной ценой металла, и ее себестоимость (C).

При одинаковой размерности (например, в рублях за 1 т) отношение их в процентах (\bar{n}) представляет собой среднее

содержание металла без учета потерь при добыче и переработке:

$$\frac{C}{C_m} \cdot 100 = \bar{n}. \quad (65)$$

Например, при себестоимости добычи и переработки 1 т медной руды 3 руб. и цене 1 т меди в 20%-ном концентрате 420 руб. получим

$$\bar{n} = \frac{C}{C_m} \cdot 100 = \frac{3}{420} \cdot 100 = 0,71\%.$$

Если учесть минимальную себестоимость ($C_{мин}$) и планируемый чистый доход (Δ), то получим минимальное среднее содержание в руде

$$\bar{n}_{мин} = \frac{C_{мин} + \Delta}{C_m} \cdot 100\%, \quad (66)$$

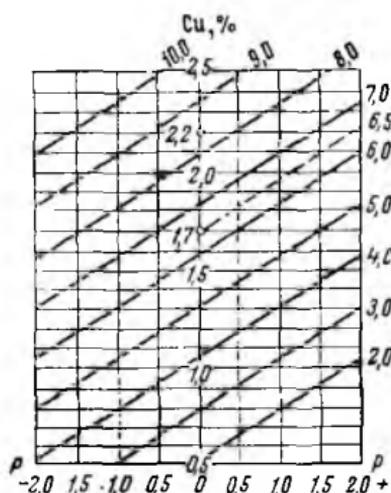


Рис. 111. Номограмма для определения минимального среднего содержания меди в монометаллической руде (по В. В. Померанцеву)

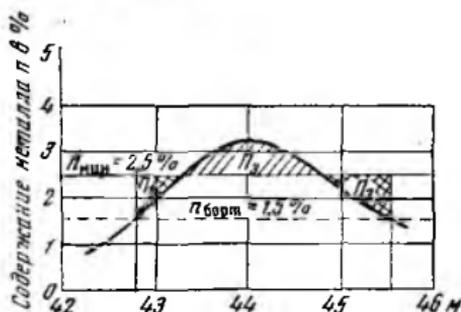


Рис. 112. Пример определения бортового содержания (по В. В. Померанцеву)

и с учетом разубоживания и потерь

$$\bar{n}_{мин} = \frac{C_{мин} + \Delta}{C_m I (1 - y)} \cdot 100\%, \quad (67)$$

где I — коэффициент извлечения в долях единицы;

y — коэффициент разубоживания в долях единицы.

Для ориентировочного нахождения минимального среднего содержания можно предварительно установить средние значения коэффициентов извлечения и разубоживания, а также цены полезных компонентов и по ним построить специальные графики-номограммы.

В. В. Померанцевым (1961) такие графики-номограммы построены для меди, молибдена, свинца, цинка и олова. Здесь приведен только один из них — для меди (рис. 111). По нему при заданной стоимости добычи и переработки можно найти минимальное среднее

содержание (и наоборот). При этом по горизонтальной оси графика можно определить прибыль (+) или необходимую дотацию (-) в рублях на каждую тонну руды (Р). Например, если себестоимость составляет 6,5 руб., то минимальное среднее содержание металла для безубыточной работы должно быть равно 1,7% (см. рис. 111).

Вычисление минимального содержания в комплексных рудах производится путем пересчета на условную монометаллическую руду с помощью переходных коэффициентов, которые рассчитываются с учетом существующих цен на концентраты различных полезных ископаемых и коэффициентов их извлечения. В качестве примера в табл. 31 приведен расчет переходных коэффициентов для пересчета на условную медь. Если среднее минимальное содержание меди в рудах 2%, то для одного молибдена оно будет равно $\frac{2}{20} = 0,1\%$, а для свинца $\frac{2}{1,1} = 1,8\%$. Если в руде содержится, например, 0,6% Cu, 1% Pb, 2% Zn, то в пересчете на условную медь получим: $0,6 \cdot 1,0 + 1,0 \cdot 1,1 + 2,0 \cdot 0,3 = 2,3\%$. Что касается вредных примесей, то нужно пользоваться техническими характеристиками продукции цветной металлургии (прейскуранты цен) и других отраслей промышленности.

Таблица 31

Переходные коэффициенты для некоторых металлов

Металл	Марка концентрата	Цена металла в концентрате в руб/т	Коэффициент извлечения	Переходный коэффициент
Медь	КМ-1	470	0,9	1,0
Молибден	КМ-2	12 200	0,7	20,0
Свинец	КС-0	530	0,9	1,1
Цинк	КЦ-1	150	0,8	0,3
Олово	40%	7 500	0,8	14,2

С представлением о минимальном среднем содержании связано понятие о так называемом бортовом содержании компонента (содержание на контуре рудного тела). Оно вызывает очень большие споры. Иногда контур рудного тела определяют только по бортовому содержанию. Конечно, такая методика довольно проста, особенно для геолога-разведчика, принимающего бортовое содержание по аналогии с известными месторождениями. Если рудное тело имеет четкие геологические границы, а среднее содержание компонента в рудах не ниже среднего минимального, то вопрос о бортовом содержании вообще не возникает. Но если внутри рудного тела имеются хотя бы участки со средним содержанием и выше и ниже минимального промышленного, возникает задача нахождения промышленного контура.

Для определения бортового содержания нужно учитывать два фактора: 1) минимальное содержание металла и 2) фактическое распределение металла внутри рудного тела. Минимальное промышленное содержание, как ясно из предыдущего, — понятие технико-экономическое, а бортовое содержание — пространственно-геологическое. Вполне понятно, что контурное, или бортовое, содержание есть какая-то функция минимального среднего.

Определение границ легче всего производить графически. Для этого нужно построить кривую фактических содержаний металла по выработке и нанести на график линию минимального среднего содержания. Если кривая фактических содержаний ляжет выше линии минимального содержания, то бортовые содержания надо брать по крайним пробам. Это — случай совпадения геологических и промышленных границ.

Если же кривые фактических содержаний пересекутся линией минимального среднего содержания (рис. 112), то нужно достичь примерного соблюдения равенства $\Pi_1 + \Pi_2 = \Pi_3$; тогда ординаты, ограничивающие площади Π_1 и Π_2 , будут отвечать бортовым содержаниям.

Все эти рассуждения построены на допущении, что мощность рудного тела не меньше выемочной мощности.

Вопрос о бортовом содержании очень сложен. Предложенные В. П. Померанцевым методы оконтуривания тел полезных ископаемых трудны для геолога-разведчика. На отдельных месторождениях геолог может сделать подсчет запасов по трем-четырем изолиниям, оконтуривающим рудные тела при различных содержаниях, и тогда среднее содержание в оконтуренных рудах будет различным; проектная организация выбирает из них то, что ей нужно. В других случаях геолог-разведчик может «прикинуть», какая примерно изолиния обеспечит минимальное промышленное содержание (это будет «бортное» содержание первого приближения) и после этого сделать подсчет запасов.

Предельно извлекаемое содержание должно быть включено в основной перечень промышленных условий (кондичий) хотя бы потому, что оно в настоящее время определяет очень важное понятие «пустая порода».

Общий контур, включающий руды с предельно извлекаемым содержанием и охватывающий балансовые и забалансовые руды, проводится только в месторождениях убогих вкрапленных руд; для месторождений с отчетливыми резкими границами рудных тел такой контур обычно не нужен. Внутри контура руд с предельно извлекаемым содержанием может быть одно или несколько рудных тел с промышленными рудами.

Предельно извлекаемое содержание металла в руде фактически уже не извлекается из этого типа руды и очень часто равно содержанию металла в хвостах обогатительной фабрики. Определение предельно извлекаемого содержания — проблема технологическая и требует учета многих факторов (состава руд, их комплексности, вредных

компонентов и др.), которые устанавливаются специалистами-обогатителями; геолог-разведчик должен получать эти данные от проектных организаций, совнархозов и др. Знание предельно извлекаемого содержания помогает нахождению обоснованных границ рудопроявления. В качестве примера можно указать, что для молибденеральных медных руд предельно извлекаемое содержание меди равно 0,2% в то время как для медно-свинцово-цинковых руд оно понижается до 0,05%. Для молибденовых монометаллических руд предельно извлекаемое содержание молибдена равно 0,015%, а для меднопорфириновых руд — 0,003% Mo и т. д.

С понятием предельно извлекаемого содержания связан вопрос о предельной (максимальной) мощности прослоев пустой породы, включаемых в руду. Для различных типов месторождений эта мощность различна; конечно, прежде всего она не может превышать мощности руды и должна быть прямо связана с системой отработки. При высокопроизводительных системах разработки (подэтажные штреки, этапное обрушение) предельная мощность прослоев пустой породы не должна превышать 1/5 суммарной мощности рудных тел.

Ясно, что пустая порода вместе с рудой должны обеспечивать получение руд с минимальным средним содержанием.

В практике ГКЗ СССР часто предельная мощность прослоев пустых пород принимается равной 3 м, но обосновать цифру предельной мощности пустых пород может только проектная организация или квалифицированный экспертный коллектив.

Анализируя совокупность промышленных условий, В. В. Померанцев пришел к важному и справедливому выводу о необходимости рассматривать все кондиции только в границах определенного пространства и времени. Очень много рудных тел отличается неравномерностью распределения и прерывистостью минерализации (число подобных месторождений, вовлекаемых в промышленность, с каждым годом растет). В таких условиях на обогатительную фабрику не может все время поступать руда одинакового качества, как бы не регулировалась добыча из различных блоков. Подобные природные условия необходимо учитывать и при подсчете запасов.

Например, имеется жила с многочисленными рудными столбами, но влияние этих столбов начинает сказываться только с глубины 100 м. Ниже этой глубины даже вместе с рядовой рудой, залегающей между столбами, среднее содержание металла в рудах значительно превышает минимальное промышленное. От поверхности до глубины 100 м рудные столбы почти не проявляются и вся рудная масса характеризуется содержанием значительно ниже минимального. Если же подсчитать верхние и нижние участки «на круг» то вся рудная масса будет удовлетворять минимальному среднему содержанию. Совершенно ясно, что минерализация до глубины 100 м является непромышленной и этот верхний объем не нужно включать в запасы. Если принять эксплуатационные

этаж равным 50 м, то в данном случае разработку можно начинать только с третьего этажа.

Следовательно, в кондициях должен быть принят какой-то предельный объем, в котором можно смешивать бедные и богатые руды до получения минимального среднего содержания. Предельный объем это тот объем руды, который можно отработать не более чем за год; один год является узаконенным плановым интервалом (в отдельных случаях можно брать полгода или квартал). В общем можно сказать, что чем ценнее металл, чем важнее он для народного хозяйства, тем меньшим должен быть предельный объем. Этот предельный объем, в котором шихтуются руды до минимального среднего содержания, является очень важным промышленным условием; этот объем (в м³) легко установить, зная годовую добычу и площадь месторождения.

Бедные, забалансовые руды В. В. Померанцев (1961) предлагает включать в общий контур промышленных запасов при следующих условиях: 1) если они входят в установленный максимальный объем руды; 2) если по горнотехническим условиям не могут быть добыты раздельно от богатых; 3) если оставление их в недрах ухудшает технико-экономические показатели отработки; 4) если они в виде отдельных тел находятся висячем боку месторождения и безвозвратно теряются при отработке. При спорности вопроса о включении бедных руд в промышленный контур необходимо иметь заключение проектной организации.

Решение вопроса о включении бедных руд в контур промышленных запасов подвергается наибольшей критике со стороны оппонентов. Сомнения касаются проблемы включения бедных руд (до предельно извлекаемого содержания, по В. В. Померанцеву) для получения минимального содержания за счет богатых. Опасность грубых ошибок здесь может возникнуть только в том случае, если в месторождении имеются два типа руд: богатые и очень бедные. В этом случае, в зависимости от количества и качества богатых руд, на одном месторождении может извлекаться много крайне бедных руд, в то время как на другом (при малом количестве богатых руд) в недрах могут погибнуть руды с содержанием немного ниже минимального среднего.

Но, во-первых, месторождения, где имеются только две категории руд — богатые и бедные, без переходных разностей, крайне редки (для меди, например, можно назвать только некоторые месторождения скарнового типа). Во-вторых, В. В. Померанцев перечисляет четыре условия, когда бедные руды можно обрабатывать. Наконец, в третьих, все оппоненты согласны с тем, что часть руд с содержанием ниже промышленного минимума нужно обрабатывать при наличии богатых (с содержанием выше промышленного минимума) руд, в противном случае работа часто будет напоминать хищничество.

Следовательно, разногласия вызывает лишь та «точка», до которой нужно доходить при отработке руд с содержанием ниже

промышленного минимума. Найти эту «точку» нелегко, учитывая разницу в экономических условиях различных месторождений (легче всего это сделать для золотой промышленности).

Соблюдение предельного объема дает гарантию, что в использованную рудную массу не может попасть много бедных руд. Кроме того, в рудную массу не должны включаться в сколько-нибудь значительных количествах и забалансовые руды.

3. ПУТИ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАНАХ

В капиталистической системе хозяйства, основанной на частной собственности на средства производства, землю и недра, при индивидуальной форме присвоения, главнейшим фактором оценки считается прибыльность разработки месторождения полезного ископаемого. Не случайно один из первых геологов-оценщиков в США Хувер говорил в 1909 г.: «Оценка месторождения заключается в установлении прибыли от его разработки, остальное — чад и дым».

Основное содержание и метод оценки месторождений видны из самого определения понятия руды, принятого на Западе: «Руда — это порода, содержащая металл, которую можно с выгодой разрабатывать в данном месте и в данное время» (Риккард, 1913 г.): «Руда — это агрегат металлосодержащих веществ и жильной породы, из которого можно с выгодой извлекать один или несколько металлов» (Бэгман, 1950 г.).

Под оценкой месторождения в капиталистических странах нередко понимают определение его цены.

Основная формула, выражающая стоимость рудника, дана Хосколдом еще в 1877 г.:

$$Pv = \frac{A}{\frac{r}{(1+r)^n - 1} + r'}, \quad (68)$$

где Pv (present value) — современная стоимость рудника;

A — чистая годовая прибыль;

r — нормальный процент прибыли;

r' — норма риска в %;

n — срок разработки рудника в годах.

Эта формула определяет прибыль, которую можно получить от эксплуатации месторождения, с учетом нормы прибыли и возможного риска. Формула Хосколда нашла широкое применение при оценке месторождений капиталистических стран, и по существу позднейшие оценочные формулы весьма близки к ней.

Основную идею Хосколда, но в другой форме, проводил в 1911 г. Бринсмейд, формулой которого в 20-х годах пользовались и советские инженеры. Уравнение Бринсмейда имеет вид:

$$(b - t)(C + W)R + \frac{Crt(1 - r)^t}{(1 + r)^t - 1} = Qu + p, \quad (69)$$

здесь b — число лет, через которые рудник достигает устойчивой годовой производительности в y тонн;

t — число лет работы рудника;

$C = g + M + P + S$, где g — покупная цена предприятия, M — стоимость горноподготовительных работ и горного оборудования, P — стоимость оборудования фабрики (за- вода), S — сумма остальных капитальных затрат;

W — оборотный капитал;

R — проценты на весь затрачиваемый капитал;

r — проценты на ежегодное погашение;

$Q = a + mx + nz = yt$, где a — «действительные» запасы, x — «вероятные», z — «возможные», m и n — коэффициенты для перевода вероятных и возможных запасов в действительные;

u — средняя за время эксплуатации месторождения чистая прибыль на тонну руды;

p — ликвидационная стоимость предприятия.

Эта формула давно известна в советской литературе, но В. В. Померанцев (1961), анализируя ее вывод, впервые показал, что расчетные запасы руд месторождения определяются суммированием запасов различных категорий с использованием специальных переводных коэффициентов (m и n). Основная идея формулы Бринсмейда заключается, однако, все в том же: ценность месторождения определяется прибылью от его разработки.

При исчислении прибыли от эксплуатации месторождения исходят из рыночной цены металла, причем обычно берут среднюю цифру за 20—30 лет (за исключением военных лет).

Целесообразно упомянуть здесь изданную в 1946 г. работу Форрестера, который подробно останавливается на расчетах, определяющих промышленные границы руд. При этих расчетах он учитывает климат, топографию, степень доступности месторождения, геологические и горнотехнические условия, технологические условия обогащения и переработки руд, а также экономические факторы: условия труда, наличие рабочей силы, способы снабжения и т. п. В конечном счете все эти факторы находят свое выражение в себестоимости добычи и переработки руд. Автор дает ряд справок о себестоимости добычи руд при различных способах разработки, при обогащении руды методами флотации, цианирования, гравитации и магнитной сепарации. Кроме того, И. Форрестер приводит простейшие способы определения минимального среднего содержания.

Современную ценность месторождения И. Форрестер рекомендует определять по несколько видоизмененной формуле Хосколда:

$$Pv = \frac{A}{(1+r)^n} + \frac{S}{(1+r)^n}, \quad (70)$$

где S — ликвидационная стоимость оборудования и прочие капиталы, остающиеся после прекращения деятельности рудника; остальные обозначения те же, что в формуле (68).

Анализ работ, посвященных оценке месторождений в капиталистических странах, позволяет сделать вывод о том, что при капиталистической системе хозяйства основой оценки является учет народнохозяйственного значения того или иного месторождения. В противоположность сравнительной оценке, принятой в Советском Союзе, капиталистическую оценку месторождений полезных ископаемых нередко называют абсолютной, так как она решает вопрос с точки зрения получения «абсолютной» прибыли и не рассматривает целесообразности выбора и отработки наиболее пригодных месторождений. Характерно, что в капиталистических странах распространена теория о рациональности первоочередной отработки богатых руд. Что же касается эксплуатации месторождений в колониях и полуколониях, то она часто носила откровенно хищнический характер.

Однако прогрессирующее истощение богатых руд вынуждает капиталистов начинать разработку и бедных руд; кроме того, начинают появляться высказывания специалистов, предостерегающих от хищнической эксплуатации месторождений. Так Л. Карлейль в своих статьях 1953 и 1954 гг. обосновывает рациональность совместной отработки богатых и бедных руд и доказывает необоснованность формулы Хосколда. Г. Янс отмечает необходимость включения в число промышленных месторождений и таких, которые не дают прибыли. Кроме того, этот автор называет ряд причин, которые могут заставить эксплуатировать нерентабельные месторождения. Но все это не меняет, конечно, природы капиталистической оценки, которая не способна учитывать всю совокупность народнохозяйственных интересов.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РУДНИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

С момента, когда месторождение начинает эксплуатироваться, характер деятельности геологоразведчика существенно изменяется. Круг вопросов, решаемых геологом, по сравнению с предшествующими стадиями разведки расширяется, а геологические исследования становятся более углубленными и детальными. Поэтому на практике уже давно определен специфический характер работы геологов по обслуживанию действующих горных предприятий и выделен комплекс проблем и вопросов, решаемых ими в период эксплуатации месторождения. К учению о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых близко примыкают самостоятельные дисциплины: «Рудничная геология», «Шахтная геология», «Промысловая геология». Наиболее сложные вопросы приходится решать геологу при эксплуатации месторождений цветных, редких, драгоценных металлов и нефти, поэтому наибольшее внимание сосредотачивается на рудничной и промысловой геологии.

Рудничная, шахтная и промысловая геология имеют свои особенности, но в то же время объединены общностью целей, стоящих перед каждым геологом, обслуживающим действующее горное предприятие. Главные цели могут быть сформулированы так:

- 1) продление жизни горного предприятия по возможности без снижения его производственной мощности, или увеличение производственной мощности на тот же период;
- 2) повседневная помощь в эксплуатации месторождения с целью повышения ее технической и экономической эффективности.

Первая цель достигается главным образом путем углубленного геологического изучения месторождения с полным использованием разведочных и эксплуатационных выработок. При этом часто удается обнаружить незамеченные ранее слепые тела полезного ископаемого: параллельные залежи, отдельные карманы и гнезда, а также части тел, смещенные по тектоническим нарушениям; все это увеличивает резервы предприятия и продлевает его существование.

Кроме того, рудничный геолог может и должен вести научные исследования для выяснения генетических особенностей месторождения. Условия для таких исследований на действующем горном предприятии всегда наилучшие. Каждый рудник (шахта, промысел) представляет для геолога огромную лабораторию, где ежедневно

можно получать новые факты и производить наблюдения, недоступные геологам, занимающимся поисками и предварительной разведкой месторождений полезных ископаемых. Безусловно, все получаемые данные, позволяющие решать научно-теоретические вопросы, важны не только для широких научных обобщений, но прежде всего для эффективной работы самого горного предприятия.

Достижение второй цели требует от рудничного геолога ясного понимания запросов и нужд эксплуатации.

Не следует думать, что геолог, живущий проблемами данного эксплуатируемого месторождения, не должен заниматься общими геологическими вопросами, касающимися рудного поля или района в целом. Наоборот, тем успешнее будет деятельность рудничного геолога, чем лучше им понята геологическое строение и геологическая история всего района.

Для решения перечисленных задач геолог на действующем горном предприятии осуществляет четыре вида работ:

1) ведет эксплуатационную разведку месторождения на основе его углубленного геолого-минералогического изучения;

2) проводит мероприятия, направленные на оказание помощи горному цеху в производстве и рационализации процессов добычи;

3) выполняет исследования для цеха, перерабатывающего полезное ископаемое, и организует помощь этому цеху в рационализации технологического процесса переработки на основе применения геолого-минералогических методов;

4) помогает в выборе пунктов строительства предприятий и дорог; разведывает строительные материалы, а также питьевую и техническую воду.

Первый вопрос полностью, а другие частично относятся к «Учению о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых», в то время как «Рудничная геология» ближе стоит к древу горных наук.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА

Эксплуатационная разведка * отличается от предыдущих стадий разведки наибольшей детальностью и соответственно наиболее достоверными результатами. На этой стадии, как отмечалось выше, значительно возрастают и плотность разведочной сети, и частота наблюдений, и число других различных наблюдений и исследований.

Эксплуатационная разведка отличается от предшествующих стадий разведки не только количественно, но и качественно. В стадии эксплуатационной разведки исследования направляют в большинстве случаев исходя из уже известного — из того, что выяснено детальной разведкой и ведущимися эксплуатационными работами в отношении

* Здесь подчеркивается роль эксплуатационной разведки в общей увязке с учением о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Трактовка рудничной геологии должна быть более широкой.

формы тел, их геологической позиции и качества полезного ископаемого.

В связи с этим возникают две специфические задачи эксплуатационной разведки: уточнение данных предшествующей разведки и контроль процесса добычи полезного ископаемого.

В результате уточнения данных предшествующей разведки могут подвергнуться исправлению контуры тела полезного ископаемого, выявиться новые данные о содержании металлов в рудах на отдельных участках месторождения, дифференцироваться физико-механические свойства вмещающих горных пород и полезного ископаемого по отдельным небольшим участкам, детализироваться гидрогеологические условия в различных частях месторождения. На основании всего этого уточняется количество запасов полезного ископаемого по сортам и может подвергнуться корректировке проект разработки месторождения.

Контроль процесса добычи полезного ископаемого состоит в наблюдении за выемкой и использованием всего комплекса полезных компонентов, заключенных в минеральном сырье. В связи с этим выясняются два главных вопроса, касающихся процесса добычи, — величина потерь и степень разубоживания. Кроме того, должны вестись непрерывно минералогические, химические и другие исследования полезного ископаемого, позволяющие правильно решить вопросы комплексного использования добываемого минерального сырья. Помощь горному цеху и цеху по переработке полезного ископаемого со стороны рудничного геолога возможна только на основании тщательного контроля добычи полезного ископаемого, осуществляемого геологической службой на действующем горном предприятии в процессе эксплуатационной разведки.

Однако решение названных двух задач еще не обеспечивает prolongации жизни горного предприятия, продолжительность которой определяется запасами полезного ископаемого. Поэтому третьей (фактически первой) практической задачей рудничного геолога и повседневной его заботой является приращение запасов полезного ископаемого.

Эта задача должна решаться прежде всего путем тщательного геологического изучения всего пространства, занимаемого месторождением, а также путем поисково-разведочных работ в прилегающем к месторождению районе.

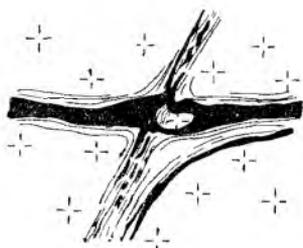
Последний указанный путь ведет к открытию новых месторождений, разведка которых является самостоятельной проблемой и поэтому часто осуществляется специальными геологоразведочными партиями. Если данное горное предприятие не может своими силами организовать поисково-разведочные работы в районе, то оно в лице руководителя геологической службы должно быть хотя бы инициатором этих работ с привлечением других специализированных геологических и геофизических организаций.

Тщательное изучение пространства, занимаемого эксплуатируемым месторождением, является обязанностью геологической службы

действующего горного предприятия; нередко оно приводит к существенному увеличению запасов полезного ископаемого.

Почти всегда после детальной разведки месторождения некоторые его участки обладают запасами категории C_2 , которые не учитываются при проектировании добычи. Кроме того, на стадиях, предшествующих эксплуатационной разведке, могут быть пропущены небольшие тела полезного ископаемого вследствие меньшей плотности разведочной сети и широкого использования бурения, часто дающего неточные результаты. Поэтому приращение запасов полезного ископаемого в период эксплуатационной разведки в пределах участка месторождения осуществляется, во-первых, путем перевода запасов из низших категорий в высшие и, во-вторых, путем обнаружения новых залежей, не учтенных в предшествующие стадии разведки.

Важной особенностью эксплуатационной разведки является возможность и целесообразность использования одних и тех же горных выработок как для целей разведки, так и для целей эксплуатации месторождения. Поэтому основным средством эксплуатационной разведки твердых полезных ископаемых являются различные подземные выработки, включая и эксплуатационные.



a



b

Рис. 113. Характер жилы у дорудной трещины (по Т. М. Кайковой)

a — дорудная трещина малой мощности с тектонической глиной и прожилками кварца вдоль трещины, *b* — мощная дорудная зона нарушений с ветвистыми прожилками кварца и кальцита

На долю рудничного (шахтного) геолога выпадает прежде всего проверка всех данных детальной разведки в процессе вскрытия и подготовки месторождения к эксплуатации. И в большинстве случаев она приносит множество дополнительных сведений и о формах, и о качестве, и об изменениях элементов залегания тел полезного ископаемого. Все это весьма тонкая работа, связанная с углубленным изучением как данного конкретного месторождения, так и каж-

366

дого промышленного типа в целом. Поэтому перечислить здесь все конкретные методы наблюдений и анализа технически невозможно.

Главной особенностью геологической работы на горных предприятиях является использование важных деталей, которые не могли быть выяснены в предшествующие стадии разведки. Эти детали (например, ориентировка и состав тектонических глинок, важные пересечения структурных элементов и вообще структурные наблюдения и др.) нужно суметь заметить и использовать для углубленных наблюдений за рудным телом, особенно за рудными столбами.

При разведке эндогенных месторождений всегда важно отличать нарушения дорудные (рис. 113), внутрирудные и послерудные.

Менее сложный комплекс вопросов возникает при эксплуатационной разведке угольных и подобных им простых по форме месторождений. Важнейшее значение здесь имеет изучение тектонических нарушений, влияющих на морфологию угольных пластов. Особого внимания требуют складчатые нарушения угленосной толщи, которые приводят к увеличению мощности пласта в шарнирных перегибах и почти полным пережигам в некоторых участках на крыльях складки.

При изучении деталей форм и элементов залегания тел полезных ископаемых в период эксплуатационной разведки необычайно возрастает роль исследования контактов между залежью и вмещающими породами, а также между различными типами и сортами полезного ископаемого внутри залежи. Дело в том, что для правильной и эффективной эксплуатации месторождения нужны сведения не об интерполированных и экстраполированных границах тела полезного ископаемого, а о фактических его контурах, которые во многих случаях существенно отличаются от прямолинейных границ, проводимых в результате подсчета запасов даже после детальной разведки месторождения.

Удовлетворительное решение задачи оконтуривания эксплуатационных блоков или участков таких месторождений достигается главным образом путем своевременного и рационального опробования разведочных и подготовительных горных выработок. Целесообразно как можно шире применять гамма-гамма-каротаж, электрометрию, радиометрию, люминесцентный анализ, а также спектроскопию и полуколичественные химические экспресс-анализы.

3. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ОПРОБОВАНИЯ И ДРУГИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

Геологическая документация при эксплуатационной разведке производится в значительно больших объемах по сравнению с предшествующими стадиями разведки, так как в период эксплуатации месторождения увеличивается число горных выработок и выявляются многие детали строения месторождения, скрытые от

разведчика прежде Основное отличие исследований эгон стадии — деталлизация.

Главное внимание на металлических рудниках должно быть уделено структуре, и поэтому особенно тщательно нужно картировать падение и простирание пластов, трещин, сбросы и взбросы,

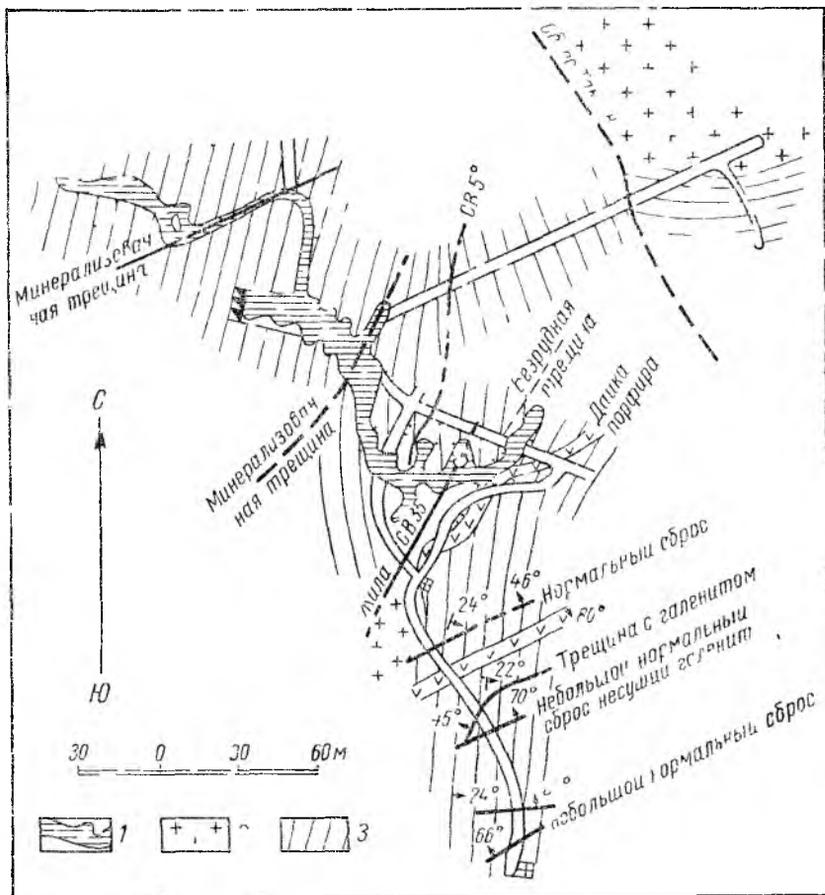


Рис. 114. Подземное картирование на руднике Гаксон, США

1 — рудное тело, 2 — докембрийские граниты, 3 — кембрийские кварциты

а также надвиги и относительный возраст всех нарушений. Не наносится на карту, но систематически измеряется и записывается slickensite различного типа. Внимательно фиксируется направление растащенных вдоль сброса обломков руды, отмечаются глина, брекчия, борозды и царапины. Все наблюдения наносятся на зарисовку с таким расчетом, чтобы словесных пояснении было возможно меньше (рис. 114).

Большое внимание уделяется нанесению на зарисовку всевозможных контактов, даек и малых интрузивных тел. Если вмещающие породы представлены сплошными интрузивными массами или эффузивными толщами, то внимательно картируются все резкие и постепенные переходы этих пород.

На зарисовках отражается минеральный состав руд и все его изменения по простиранию и падению, а также характер и масштаб изменения боковых пород; фиксируются также все детали формы жил, рудных столбов, всевозможные изменения падения и простирания самой рудной трещины.

Требуется очень подробная документация таких элементов, которые отражают наиболее важные с точки зрения разведки и будущих очистных работ черты месторождения: формы и типы контактов, сорта полезного ископаемого, вариации вещественного состава внутри сортовых границ и т. п. Наоборот, можно не фиксировать то, что не имеет значения при эксплуатации.

Для подземной геологической документации в период эксплуатации многие геологи справедливо употребляют термин «подземное геологическое картирование». Отличить подземную сводную документацию от картирования трудно, но получаемые сводные геологические документы принято называть не картами, а планами; название «разрезы» сохраняется и за соответствующими подземными сводными графическими документами. Масштабы этих планов и разрезов колеблются в довольно широких пределах: от 1 : 500 до 1 : 100, а отдельные зарисовки выполняются даже в масштабах 1 : 50—1 : 10. Как и при наземном картировании, масштаб в основном определяется сложностью геологического строения месторождения. При простом строении обычно картируются только основные штреки и восстающие, при усложнении картины используются вспомогательные и очистные выработки. Известны случаи, правда весьма редкие, когда расстояние между планами и разрезами составляло всего 5 м и даже 2 м.

Главное отличие геологической документации при эксплуатационной разведке состоит в том, что на этой стадии часто бывает целесообразно, а иногда совершенно необходимо производить документирование очистных выработок.

Документация подземных очистных выработок нередко вносит существенные коррективы в первоначальные представления о форме залежи и о распределении в ее пределах полезных компонентов и пустых пород; кроме того, она дает возможность решать текущие вопросы добычи, определять тоннаж добытой руды по ее объему в очистном пространстве, выяснять причины потерь и разубоживания. Обычно эта документация ведется на маркшейдерской основе и в сроки, соответствующие этапам маркшейдерских замеров. Желательно процесс документирования также совмещать с опробованием очистных выработок.

В одних случаях удается осуществлять (в зависимости от системы разработки) непосредственные наблюдения в выработках, в других такие наблюдения невозможны.

Непосредственные наблюдения и достаточно полная геологическая документация в большинстве случаев возможны при таких системах разработки, при которых отбойка полезного ископаемого производится мелкошпуровым способом. Сюда можно отнести системы: почвоуступную, потолкауступную с магазинированием руды, камерно-столбовую, слоевого обрушения, системы с креплением и закладкой выработанного пространства.

При системах разработки с закладкой выработанного пространства и с магазинированием руды обычно документируется кровля по каждому очистному слою. Эти данные позволяют составлять послейные планы и детальные вертикальные разрезы. При системах разработки с креплением очистного пространства в зависимости от элементов залегания тела полезного ископаемого и общей конфигурации очистной выработки документируются пли забой через каждые 2—3 м уходки, или кровля на всем ее протяжении.

Системы же подэтажных штреков, системы с отбойкой минными камерами, системы подэтажного обрушения и т. п. не позволяют произвести полную зарисовку и описание выработанного пространства. Поэтому здесь приходится ограничиваться документацией подготовительных выработок, сбором плама из пробуриваемых длинных шпуров и иногда получаемого из минных скважин керна.

Характер документации открытых очистных выработок определяется сложностью разрабатываемого месторождения. В условиях сложного геологического строения роль геологической документации карьера весьма ответственна; приходится следить за изменениями формы и распределения рудных тел и блоков шаг за шагом, по мере продвижения экскаватора и бурения взрывных скважин, которые в то же время являются разведочными скважинами. Общепринятым масштабом геологических зарисовок в карьерах является масштаб 1 : 500. Зарисовки выполняются в виде развертки стенки уступа, спроектированной на вертикальную плоскость. Если не удастся использовать для зарисовки маркшейдерские профили бортов карьера, то можно прибегнуть к простейшей съемке с помощью эклиметра. Такая съемка осуществляется следующим образом: рулеткой, на конце которой привязан груз, промеряются расстояния от верхней бровки уступа до интересующего пункта, а эклиметром измеряются соответствующие углы наклона ленты; по результатам измерений составляется серия профилей уступа (рис. 115), а затем все данные этих профилей переносятся на развертку стенки уступа. В результате можно составить план карьера (рис. 116).

Кроме чисто разведочных задач, в период эксплуатации месторождения опробование служит целям рациональной и максимально полной добычи полезного ископаемого и является средством контроля технологии переработки минерального сырья. Ориентировочное число проб берется по данным табл. 25.

Основное отличие опробования, осуществляемого в период эксплуатации, кроме уже указанных выше вида опробования, расстояния между пробами и т. д., состоит в том, что на этой стадии опробо-

ванию подвергаются очистные горные выработки и масса добытого полезного ископаемого на пути от места добычи до пункта передачи минерального сырья потребителю или перерабатывающему цеху (обогажительной фабрике, сортировочной и т. п.).

Для выяснения размеров потерь и разубоживания с целью их максимального сокращения в первую очередь производится систематическое или выборочное опробование очистных выработок.

Вторым этапом определения потерь в разубоживании полезного ископаемого является опробование добытой массы минерального сырья в забое и вагонетках, обычно точечным способом.

Из всех проб добытой массы полезного ископаемого составляется объединенная суточная проба, подвергающаяся необходимым испытаниям. В дальнейшем из суточных проб могут составляться недельные и месячные объединенные пробы, характеризующие среднее качество полезного ископаемого, добытого за соответствующий период.

Опробование, организованное в целях определения потерь и разубоживания по группе одновременно разрабатываемых блоков, позволяет сократить общее число проб за счет выборочного опробования части блоков и опробования массы минерального сырья, собранной из всех действующих забоев (на перевалочном пункте или на обогажительной фабрике). При этом необходимое количество проб определяется не только изменчивостью свойств полезного ископаемого, но и общими размерами эксплуатируемого участка и месячной производительностью предприятия.

Текущий контроль качества добываемого полезного ископаемого является одной из важных проблем эксплуатации. Он базируется главным образом на опробовании. В некоторых случаях, когда качество добываемого минерального сырья резко не соответствует кондициям, производится дополнительное выборочное опробование по густой сетке.

Опробование добытого полезного ископаемого, кроме определения потерь и разубоживания, производится для следующих целей:

- а) технологических и коммерческих расчетов с потребителями;
- б) определения запасов минерального сырья в отвалах.

Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в период эксплуатации месторождения подчинены идее наиболее детального выяснения обводненности месторождения и физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород.

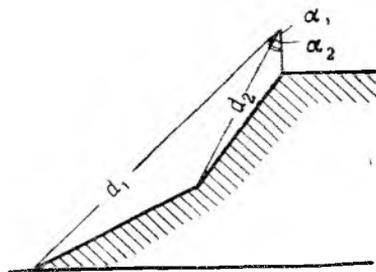


Рис. 115. Съемка профиля уступа (по М. Н. Альбову)

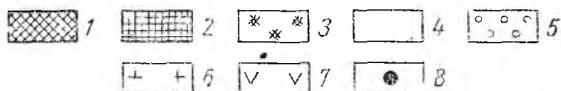
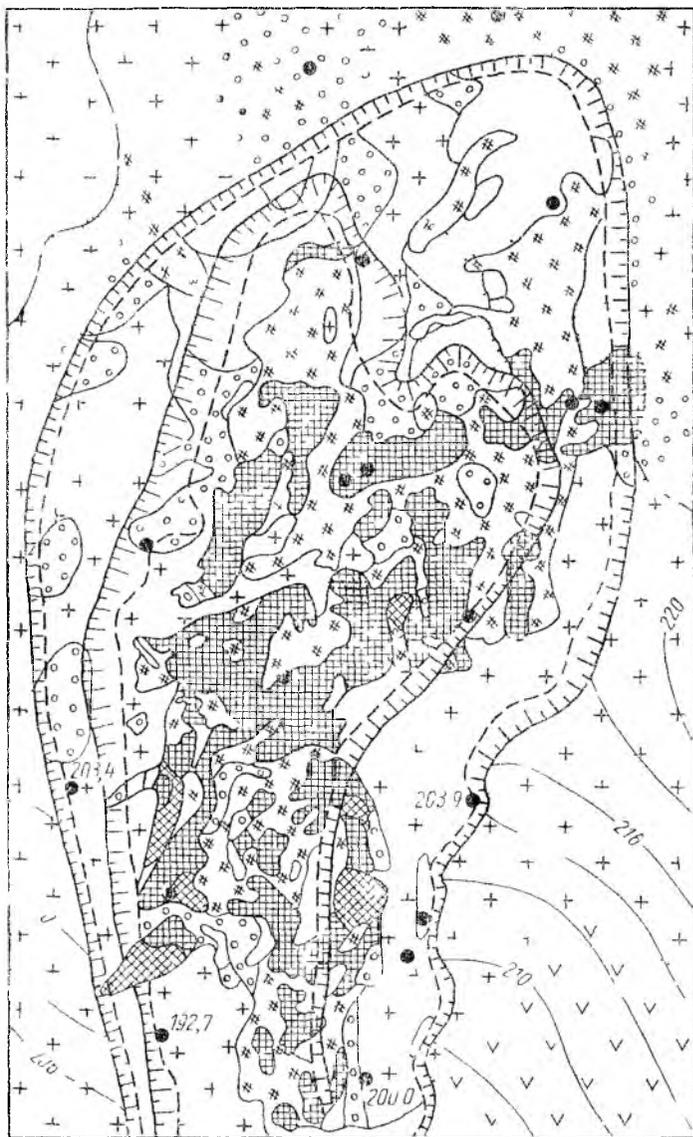


Рис. 116. План карьера на железорудном месте ождения (по М. П. Альбову)

1 — магнетитовые руды (Fe 40%), 2 — богатые магнетитовые скарны (Fe 30—45%), 3 — магнетитовые скарны (Fe 20—30%), 4 — бедные магнетитовые скарны (Fe 15—20%), 5 — безрудные скарны, 6 — сyenиты эндоконтактные, 7 — сyenиты зернистые, 8 — эквадрант колонкового бурения

Следует иметь в виду, что на эксплуатируемом месторождении повседневное решение частных гидрогеологических и инженерно-геологических вопросов часто возлагается на рудничного геолога. Поэтому рудничный геолог должен быть достаточно хорошо знаком с вопросами гидрогеологии и инженерной геологии.

Важнейшей задачей гидрогеологических исследований на действующем горном предприятии является определение обводненности эксплуатируемого месторождения и условий поступления воды в горные выработки.

Подземные и поверхностные воды, проникающие в горные выработки и оказывающие определенное влияние на вскрытие и эксплуатацию месторождения, принято называть «рудничными водами».

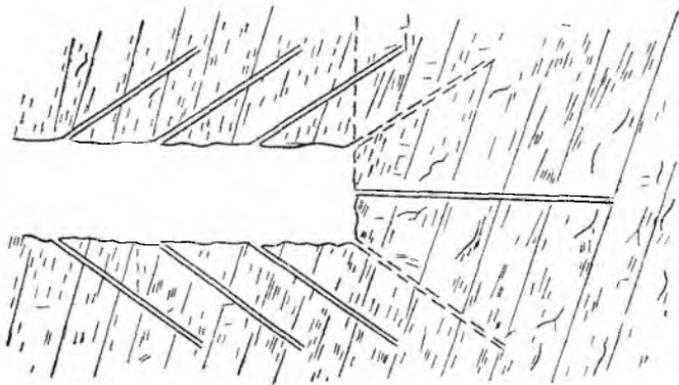


Рис. 117 Передовые гидрогеологические скважины
(по Д. И. Щеголеву)

Концентрированное поступление воды в горные выработки, проходящие в плотных породах, часто связано с пересечением тектонических нарушений. Иногда прорывы воды через тектонические нарушения носят катастрофический характер.

Все факторы, от которых зависит обводненность месторождения должны учитываться при проходке подготовительных и очистных выработок. В опасных случаях, когда возможно поступление больших количеств воды или пльвунов в горные выработки (карст, тектонические нарушения), из выработок производится специальное опережающее бурение (рис. 117) для разведки обводненных зон, предупреждения катастрофического прорыва воды или пльвунов и снижения напоров.

Общее количество воды, поступающее в горные выработки на действующем горном предприятии, еще не может служить показателем обводненности месторождения, так как размеры месторождений и рудников (шахт) различны. Таким показателем может служить коэффициент водообильности, который представляет собой отношение количества воды, выдаваемой из рудника (шахты) в единицу времени (обычно в год), к количеству добываемого

за это же время полезного ископаемого (годовая производительность).

Инженерно-геологические исследования на действующем горном предприятии ведутся в целях решения ряда практических вопросов, которые можно в первом приближении подразделить на две группы: 1) вопросы, связанные непосредственно с добычей полезного ископаемого и 2) вопросы, связанные со строительством различных поверхностных сооружений — жилых и производственных помещений, дорог и др. Внимание рудничного геолога должно быть сосредоточено главным образом на тех инженерно-геологических проблемах, решение которых помогло бы более эффективной разработке полезного ископаемого. В этих целях рудничному геологу приходится самостоятельно проводить некоторые исследования физических свойств полезного ископаемого и вмещающих горных пород, а также оценивать устойчивость горных пород в эксплуатационных выработках и вблизи рудника. К этой категории вопросов относятся в первую очередь: крепость, устойчивость, коэффициент разрыхления, иногда гранулометрический состав полезного ископаемого и вмещающих горных пород.

4. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В процессе эксплуатации, когда наиболее полно раскрываются все особенности месторождения и свойства полезного ископаемого, появляются новые данные для его оценки. Поэтому естественно, что на стадии эксплуатационной разведки значительно уточняется оценка месторождения в целом, а также по отдельным участкам и эксплуатационным блокам. Иногда эти уточнения бывают настолько существенны, что фактически происходит пероценка месторождения как в отношении его размеров и условий залегания, так и в отношении качества полезного ископаемого.

Основным материалом, позволяющим уточнить оценку месторождения на каждом этапе его последовательной эксплуатации, служат данные оперативного учета полезного ископаемого в недрах и периодически составляемый баланс добычи и прироста запасов минерального сырья.

Оперативный учет недр, отражающий наличие подготовленных к добыче запасов полезного ископаемого и их выемку, проводится главным образом с целью текущего планирования работы горного предприятия. В соответствии с этим объектами оперативного учета являются те участки месторождения, на которых ведутся добычные работы и осуществляется проходка подготовительных выработок. Следовательно, при оперативном учете в поле зрения находится только часть запасов месторождения.

Не следует смешивать оперативный учет с общим пересчетом запасов, который выполняется обычно один раз в год и в который оперативный учет входит как одна из составных частей.

Оперативный учет запасов базируется на опробовании, документации и маркшейдерских замерах, которые в совокупности дают геологу наиболее точные сведения о добыче полезного ископаемого и об остающихся еще невынутыми (из числа подготовленных к добыче) запасах полезного ископаемого и заключенного в нем полезного компонента.

Существуют различные системы оперативного учета запасов и добычи, но для всех систем общим вопросом является выбор учетной единицы и периода учета. За единицу учета может быть принят рудник в целом (небольшой), эксплуатационный этаж, отдельный блок, при открытом способе разработки — «взрыв» (часть уступа в карьере, одновременно оторванная массовым взрывом). Период учета зависит от существующих на предприятии сроков отчетности; чаще всего за период оперативного учета принимается один месяц.

На некоторых месторождениях оперативный учет осуществляется путем составления специальных паспортов для каждого очистного блока; следовательно, учетной единицей здесь является блок. Такой паспорт представляет собой карточку, на которую заносятся: сводная зарисовка, данные, характеризующие свойства рудного тела и вмещающих пород, периодические маркшейдерские замеры контуров забоев, результаты вычислений среднего содержания металлов по сортам руд, данные подсчета запасов отбитой и оставшейся в целике руды и металла. Карточки эти составляются рудничным геологом с учетом типа месторождения и характера его эксплуатации.

Величина запасов полезного ископаемого на действующем горном предприятии непрерывно изменяется: в одних участках, где ведется эксплуатация, запасы уменьшаются, в других в результате геологоразведочных работ запасы уточняются и переходят в высшие категории; при этом часто обнаруживаются новые залежи или расширяются границы известных и таким образом происходит увеличение запасов. На многих месторождениях, особенно в начальный период эксплуатации, запасы в целом не только не уменьшаются, но ежегодно увеличиваются. Постоянное наблюдение за изменением запасов, из качественного состава и степени разведанности осуществляется на горном предприятии геологической службы с составлением ежегодного баланса.

Изменения запасов, происходящие в результате разведки, определяются специальными подсчетами и пересчетами запасов по соответствующим участкам.

Для составления баланса запасов металла или другого полезного компонента руд должны быть точно установлены следующие данные:

- 1) тоннаж руды, заключавшейся в контуре отработанного пространства, и содержание в ней полезного компонента;
- 2) тоннаж добытой рудной массы и содержание в ней полезного компонента;
- 3) тоннаж потерянной рудной массы и содержание в ней полезного компонента;

4) тоннаж вмещающих горных пород, отбитых вместе с рудой, и содержание в них полезного компонента.

Баланс добычи и прироста запасов полезного ископаемого на действующем горном предприятии лежит в основе периодической оценки, или, вернее, переоценки эксплуатируемого месторождения и позволяет планировать текущую работу горного предприятия. Эксплуатационная разведка должна опережать добычу не менее чем на 6—12 месяцев.

Таким образом, в процессе эксплуатации месторождения при проведении подготовительных и очистных выработок повседневно производится текущая переоценка частей месторождения, так как количество и качество руд изменяется по сравнению с ранее предполагаемыми.

Рудничный (шахтный) геолог, стремясь продлить срок деятельности горного предприятия, находит новые, ранее не учтенные тела полезного ископаемого в пределах пространства, занятого месторождением, и вблизи него. Тем самым увеличиваются запасы, появляются новые качественные характеристики полезного ископаемого. Это приводит к переоценке месторождения в связи с обнаружением новых тел полезного ископаемого, а также в связи с выявлением нового или резким увеличением содержания известного компонента.

С развитием технологии переработки руд или с появлением потребности в новых видах минерального сырья нередко появляется возможность использовать некоторые новые компоненты добываемого полезного ископаемого или попутно извлекаемых горных пород. Не так давно редкие и рассеянные элементы, находящиеся в составе полиметаллических и других руд, не извлекались и не влияли на качественную характеристику и оценку этих руд. Теперь же при наличии кадмия, индия, галлия, германия и других рассеянных элементов в полиметаллических рудах ценность последних значительно повышается. В некоторых случаях имеется возможность использовать и рудовмещающие горные породы в качестве строительного материала, наполнителей и т. п. Вообще переоценку месторождения производят часто в связи с изменениями данных геологии и методов технологии добычи и переработки минерального сырья.

Следует иметь в виду, что методика переоценки эксплуатируемого месторождения не разработана, и переоценка осуществляется в каждом конкретном случае на основе индивидуальных особенностей месторождения, характера предприятия, экономических и других условий.

5. ПОМОЩЬ ГОРНОМУ ЦЕХУ И ЦЕХУ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Из вышеизложенного видно, что рудничный (шахтный) геолог повседневно помогает правильной эксплуатации горного предприятия.

Но, помимо этого, рудничный геолог призван проводить и некоторые специальные мероприятия, направленные на оказание оперативной помощи горному цеху и цеху по переработке полезного ископаемого в разрешении технико-экономических и технологических вопросов.

В целях оказания помощи горному цеху в его оперативной производственной работе геологическая служба горного предприятия должна:

- а) участвовать в планировании добычи полезного ископаемого;
- б) направлять проведение подготовительных и очистных выработок;
- в) предупреждать об изменениях горнотехнических условий эксплуатации;
- г) определять и анализировать причины потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Направление подготовительных и очистных выработок определяется рудничным геологом совместно с маркшейдером и горным инженером. После того, как выбраны участки добычи на ближайший период, определены объемы работ и установлены необходимые технические мероприятия по проведению подготовительных и очистных выработок, необходимо задать направление, указать размеры и границы соответствующих выработок, а затем следить за правильным осуществлением их проходки. Задача заключается в том, что выбранное направление и границы выработок при данной подземной геологической и горнотехнической ситуации обеспечивали минимальные потери и разубоживание полезного ископаемого. При этом, конечно, должна быть учтена необходимость прокладки кабелей, основных путей и т. д.

Геологическая служба горного предприятия должна предупреждать работников горного цеха главным образом о следующем:

- а) изменении крепости горных пород в проходимых выработках;
- б) изменении устойчивости горных пород на пути проведения выработок;
- в) изменении притока воды в горных выработках.

Разумеется, эти предупреждения будут иметь смысл лишь в том случае, если они будут сделаны своевременно.

Потери полезного ископаемого при добыче представляют собой ту часть балансовых запасов полезного ископаемого, которая остается неизвлеченной из недр, теряется при транспортировке на предприятии или выбрасывается в отвал с пустыми горными породами.

Разубоживание полезного ископаемого — это засорение его непромышленными горными породами.

При нормальной подземной разработке месторождения потери составляют 5—12% от балансовых запасов полезного ископаемого, но иногда они возрастают до 20%. При открытом способе разработки потери полезного ископаемого резко уменьшаются.

Разубоживание при эксплуатации залежей мощных и средней мощности в зависимости от сложности строения месторождения и применяемой системы разработки колеблется от 2 до 30%. При эксплуатации маломощных жил в связи с неизбежной отбойкой боковых пород рудная масса может оказаться разубоженной в два-три раза по сравнению с качественным составом рудной жилы.

Потери полезного ископаемого в зависимости от вызывающих их причин могут быть подразделены на четыре группы:

- 1) потери, связанные с горногеологическими и гидрогеологическими условиями;
- 2) потери, зависящие от применяемой системы разработки;
- 3) потери в охранных целиках;
- 4) потери от неправильного ведения горно-эксплуатационных работ.

Разубоживание полезного ископаемого зависит главным образом от размеров и формы тела полезного ископаемого и от его внутреннего строения, в частности от характера чередования прослоев или блоков пустых горных пород внутри залежи. Степень разубоживания тем больше, чем меньше мощность тела полезного ископаемого и чем сложнее форма его контактов.

Наименьшим участком залежи полезного ископаемого, для которого определение величины потерь и разубоживания представляет практический интерес, является эксплуатационный блок.

Учет потерь ведется систематически геологической и маркшейдерской службой горного предприятия совместно на основе опробования, геологической документации и маркшейдерских замеров. Величина потерь и разубоживания определяется как по полезному ископаемому в целом, так и по отдельным полезным компонентам.

Помощь цеху по переработке полезного ископаемого входит в сферу деятельности рудничного геолога преимущественно на рудниках цветных, редких и драгоценных металлов, где осуществляется тот или иной вид обогащения полезного ископаемого. Обогащение углей не является обязательным звеном угольных разработок. Переработка нефти выполняется на самостоятельных предприятиях. Поэтому роль шахтного и промыслового геолога в отношении непосредственной помощи цеху по переработке угля и нефти в большинстве случаев ограничивается наблюдениями за качеством поставляемого полезного ископаемого, так же как и в случае некоторых других видов минерального сырья (индустриальное сырье, строительные материалы), поставляемых потребителю без предварительной переработки на горном предприятии.

Помощь обогатительной фабрике заключается главным образом в следующем: а) в регулировании качества направляемого на переработку минерального сырья и б) в проведении специальных минералогических исследований полезного ископаемого.

Изучая путем опробования различные сорта руды и их пространственное распределение, рудничный геолог должен давать указания о целесообразных размерах добычи из различных участков и блоков

с таким расчетом, чтобы на фабрику поступала руда некоторого среднего качества по крайней мере в течение месяца.

Рассмотренные выше вопросы разубоживания полезного ископаемого имеют значение не столько для горного цеха, сколько для обогатительной фабрики. Если увеличение разубоживания сказывается на работе горного цеха только в росте лишних затрат на добычу и транспортировку пустых пород, находящихся в составе руды, то на обогатительной фабрике разубоживание руды вызывает, кроме того, нарушение технологического процесса и может привести к невозможности переработки низкокачественного минерального сырья.

Проведение специальных минералогических исследований подчинено задаче наилучшей организации технологического процесса переработки полезного ископаемого. В соответствии с требованиями технологии обогащения рудничный геолог изучает состав руды (или песков) прежде всего в отношении величины, структурных взаимоотношений отдельных минеральных агрегатов и частиц. Необходимо также выяснить текстурные особенности полезного ископаемого: характер и размеры прослоек и включений; способность руд и пустых пород к механическому разделению; различие в физических свойствах минеральных фракций (магнитность, удельные веса, радиоактивность и т. п.). Весьма важно определять степень выветренности и окисленности полезного ископаемого, так как обогатимость минералов при окислении изменяется. Быстрая окисляемость некоторых типов руд иногда вызывает необходимость изменять систему разработок с тем, чтобы такие руды не залеживались в магазинах и бункерах.

Само собой разумеется, что все эти задачи можно решать лишь при наличии достаточно хорошо технически оснащенной лабораторной базы. Современная лаборатория рудничной геологии должна располагать поляризационным и стереоскопическими микроскопами, радиометром, люминескопом и средствами, позволяющими производить не только качественные, но и быстрые полуколичественные химические определения.

КРАТКИЙ СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНО РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Аристов В. В., Кренделев Ф. П. и др. Руководство для практических занятий по курсу поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Изд-во «Высшая школа», 1965.

Бакиров А. А. и др. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. Изд-во «Высшая школа», 1968.

Каждан А. Б. Основы разведки месторождений редких и радиоактивных металлов. Изд-во «Высшая школа», 1968.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, ч. I — 1960, ч. II — 1961.

Крейтер В. М., Горжевский Д. И., Козеренко В. П. Грушировка благоприятных геологических обстановок для поисков промышленных месторождений полезных ископаемых. «Геология рудных месторождений», 1963, № 3.

Методические указания по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые). Госгеолтехиздат, 1961.

Померанцев В. В. Оценка рудных месторождений цветных и черных металлов. Госгеолтехиздат, 1961.

Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Изд-во «Недра», 1963.

Требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ по этапам и стадиям. Изд-во «Недра», 1967.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений. Изд-во МГУ, 1957.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие ко второму изданию	3
Предисловие к первому изданию	4
Введение	5

Часть первая

ПО И С К И

Глава I. Промышленные типы месторождений полезных ископаемых	
1. Понятие о поисках и принципы выделения промышленных типов месторождений полезных ископаемых	9
2. Черные металлы и металлы их сплавов	13
3. Цветные металлы	22
4. Драгоценные металлы	28
5. Радиоактивные элементы	30
6. Редкие и редкоземельные элементы	31
7. Рассеянные элементы	35
8. Сырье для металлургической промышленности	38
9. Сырье для химической промышленности	41
10. Прочее индустриальное сырье	43
11. Строительные материалы	48
12. Каустобиолиты	48
Глава II. Поисковые геологические критерии и признаки	49
1. Поисковые геологические критерии	49
Климатические критерии	50
Стратиграфические (возрастные) критерии	50
Фацциально-литологические критерии	52
Структурные критерии	55
Магматогенные критерии	59
Геохимические критерии	63
Геоморфологические критерии	64
Геофизические критерии	66
2. Благоприятные геологические обстановки при поисках	67
3. Поисковые геологические признаки	68
Первичные ореолы рассеяния	69
Вторичные ореолы рассеяния	71
Поисковые признаки негеологического характера	76
Глава III. Методы поисков	77
1. Группировка методов поисков	77
2. Наземные геолого-минералогические методы	77
3. Геохимические методы	87
4. Аэрометоды	89
5. Условия рационального применения поисковых методов	107
6. Поиски и геологическая съемка	109

Глава IV. Поисково-разведочные работы	111
1. Крупномасштабная съемка и связанные с ней геофизические и другие работы	111
2. О структурах рудных полей и месторождений	121
Структуры рудных полей	122
Структуры рудных месторождений	129
Структуры экзогенных месторождений	129
3. Поиски скрытых месторождений	132
4. Оценка выходов месторождений полезных ископаемых	140
5. Морфология выходов	155
6. Вскрытие коренных пород, выходов рудных тел и детальная металлотрия	157
7. Документация при оценке выходов	161

Часть вторая

РАЗВЕДКА

Глава I. Общие вопросы разведки месторождений полезных ископаемых	165
1. Основные задачи разведки	165
2. Общие понятия об изменчивости свойств месторождений	167
Математическое выражение изменчивости свойств месторождений	167
Морфологические черты рудных тел и их изменчивость	173
Качество полезного ископаемого и его изменчивость	175
3. Принципы разведки	177
4. Методы разведки	180
5. Стадии разведки	182
6. Прослеживание и оконтуривание месторождений	185
7. Разведочная сеть	192
8. Анализ плотности сети разведочных выработок	195
9. Классификация запасов полезных ископаемых и ее значение в разведке месторождений	204
10. Общие условия разведки месторождений различных видов	208
11. Степень разведанности месторождения	211
Глава II. Технические средства и системы разведочных работ	214
1. Основные виды разведочных средств	214
Горные разведочные выработки	215
Буровые разведочные скважины	216
Геофизические работы	219
2. Системы разведки	223
Группировка разведочных систем	223
Группа буровых систем	223
Группа горных систем	232
Группа комбинированных горнобуровых систем	238
Факторы, определяющие выбор системы	243
О технико-экономическом анализе разведочных систем	244
Применимость различных систем для разведки месторождений основных геолого-минералогических типов	245
3. Некоторые данные о разведке нефти и газа	245
4. Гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения при разведке месторождений полезных ископаемых	251
5. Документация разведочных выработок	253

Глава III. Опробование месторождений минерального сырья . . .	264
1. Предварительные данные	264
2. Отбор проб в горных выработках	265
3. Отбор проб из разведочных скважин	275
4. Факторы, определяющие выбор способа отбора проб	279
5. Расстояние между пробами	282
6. Определение качества сырья без отбора проб	286
7. Опробование россыпей	289

Глава IV. Обработка и испытания проб. Контроль опробования	291
1. Основы обработки проб	291
2. Техника обработки проб	295
3. Испытания проб	300
4. Обработка и технологические испытания проб, отобранных из россыпей	306
5. Контроль опробования	308
Погрешности опробования	308
Контроль отбора и обработки проб	309
Контроль химических анализов	314

Часть третья

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Глава I. Подсчет запасов полезных ископаемых	321
1. Основные понятия и определения	321
2. Определение исходных данных для подсчета запасов	322
3. Определение средних показателей по участкам	325
4. Способы подсчета запасов полезных ископаемых	326
5. О точности подсчета запасов	341
Глава II. Вопросы оценки месторождений полезных ископаемых	345
1. Оценка месторождений на различных стадиях геологоразведочных работ	345
2. Кондиции	354
3. Пути оценки месторождений в капиталистических странах	360
Глава III. Геологическая служба на горных предприятиях	363
1. Основные задачи рудничной геологии	363
2. Эксплуатационная разведка	364
3. Особенности геологической документации, опробования и других исследований в стадии эксплуатационной разведки	367
4. Оценка эксплуатируемого месторождения	374
5. Помощь горному цеху и цеху по переработке минерального сырья	376
Краткий список дополнительно рекомендуемой литературы	380