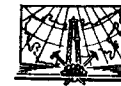


А. Б. КАЖДАН

**РАЗВЕДКА
месторождений
ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

*Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов геологических специальностей
вузов*



МОСКВА, «НЕДРА», 1971

Каждан А. Б. Разведка месторождений полезных ископаемых М., «Недра», 1977, 327 с

В книге изложены методологические основы разведки месторождений полезных ископаемых, практические приемы производства геологоразведочных работ и основы геолого-экономической оценки разведанных месторождений.

Большое внимание уделено научным основам разведки, методологии изучения неоднородности природных минеральных образований и наблюдаемой изменчивости их свойств. В качестве основного метода познания рассматриваются различные методы моделирования месторождений и важнейших свойств полезных ископаемых в недрах. Особое место отводится теоретическим основам опробования и идее трансформации представлений об объекте разведки под влиянием условий горной технологии. Рассматриваются технические средства разведки, методы опробования и изучения месторождений, практические приемы оптимизации условий геологоразведочных работ, вопросы их проектирования и организации.

С учетом современных требований народного хозяйства рассмотрены вопросы обоснования кондиций, подсчета запасов и оценки эффективности использования месторождений в народном хозяйстве. Описаны особенности проведения разведок на различных стадиях изучения недр, особенности разведок месторождений в зависимости от их морфогенетических типов и видов минерального сырья.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для студентов геологических специальностей вузов. Она может быть использована геологами, ведущими разведку полезных ископаемых, как методическое руководство.

Табл. 18, ил. 76, список лит. — 51 назв.

В период развернутого строительства материально-технической базы коммунизма перед разведчиками недр поставлена задача совершенствования существующих и изыскания новых, более эффективных методов разведки полезных ископаемых и комплексного использования природных богатств. В соответствии с «Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.», утвержденными XXV съездом КПСС, разведка недр должна обеспечить опережающий рост разведанных запасов минерального сырья по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности прежде всего в районах действующих горных предприятий, а также во вновь осваиваемых районах страны. При этом особое внимание разведчиков недр обращается на повышение качества подготовки запасов полезных ископаемых.

Для решения перечисленных задач в нашей стране созданы все необходимые предпосылки. В условиях непрерывного роста производительных сил на основе научно-технической революции неуклонно повышается техническая оснащенность геологоразведочных работ, внедряются в производство новое высокопроизводительное оборудование, аппаратура и приборы. С 1 января 1976 г. действуют «Основы законодательства СССР и союзных республик о недрах», направленные на охрану, плановое, рациональное и комплексное использование недр и обеспечивающие сохранение природных богатств для будущих поколений. Задачи по расширению минерально-сырьевой базы решаются на основе совершенствования научных методов прогнозирования месторождений полезных ископаемых, применения прогрессивных геологических, геофизических и геохимических методов, их поисков и разведок.

Грандиозность поставленных задач требует новых подходов при решении важнейших вопросов поисков, разведки, опробования, подсчета запасов и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых. В условиях всесторонней интенсификации общественного производства и дальнейшего повышения его эффективности особо важное значение приобретает разработка методов геолого-экономической оценки разведываемых месторождений и определения эффективности проведения геологоразведочных работ. Геологам необходимо не только изучить закономерности размещения полезных ископаемых и выявить полный комплекс содержащихся в недрах полезных компонентов, но и обеспечить достоверную количественную информацию о запасах полезных ископаемых в недрах и об изменчивости их свойств, без чего невозможна объективная оценка полученных результатов, рациональное использование и охрана недр.

В существующих учебных пособиях не уделяется достаточного внимания важнейшим методологическим положениям разведки недр: влиянию геометрии проб и геометрии разведочной сети на представления о морфологии и строении залежей полезных ископаемых, вопросам распространения данных по разведочным пересечениям на прилегающие объемы недр, влиянию кондиций горной технологии на представления об объекте разведочных работ и др. На фоне быстрого развития геологических наук, совершенствования технических средств и методов геологоразведочных работ все более обособляются научные основы поисков полезных ископаемых и методов их разведки.

В данном учебном пособии рассматриваются научные основы разведки недр и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых, вопросы проектирования геологоразведочных работ. В основу книги положен курс лекций, который читается автором студентам геологоразведочной специальности МГРИ. По действующему учебному плану курсу разведки полезных ископаемых предшествует курс основ геолого-математического моделирования, в котором изучаются принципы и условия применения современных математических методов в геологии. Поэтому вопросы использования математических методов рассматриваются кратко, применительно к решению конкретных задач разведки, опробования и подсчета запасов.

Созданию курса способствовали многолетние целеустремленные исследования коллектива кафедры методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых МГРИ по важнейшим проблемам методики разведки. При составлении пособия использован коллективный опыт преподавания курса методики разведки в институте, опыт проведения производственных практик, дипломного и курсового проектирования, а также многолетний опыт автора и преподавателей кафедры по экспертизе и оценке месторождений полезных ископаемых в ГКЗ СССР.

Автор искренне благодарит преподавателей и сотрудников кафедры В. Е. Бойцова, В. А. Викентьева, В. А. Воронцова, О. И. Гуськова, И. П. Кушнарера, М. Д. Полунина, Е. А. Сидорова, М. В. Шумилина, П. П. Ясковского и других за активное участие и помощь в создании курса и оформлении рукописи. Особую признательность автор выражает рецензентам книги Г. В. Рослякову и Н. П. Лаверову, ценные замечания которых учтены при доработке книги и способствовали заметному улучшению ее качества.

§ 1. Геологоразведочные работы и учение о разведке недр

В системе народного хозяйства СССР геологоразведочные работы рассматриваются как важнейшая отрасль материального производства, обеспечивающая выявление и оценку минерально-сырьевых ресурсов для всех отраслей промышленности и сельского хозяйства. В современном понимании геологоразведочные работы включают проведение геологоразведочных, поисковых и собственно разведочных работ. В данной книге рассматриваются вопросы, связанные с проведением собственно разведочных работ, которые начинаются с момента выявления промышленных концентраций полезного ископаемого в пределах локального участка земной коры и завершаются с окончанием горно-эксплуатационных работ. Они включают: составление проекта разведочных работ, геологическое картирование поверхности, проходку горных выработок и скважин, проведение комплекса геодезических, геофизических, геохимических, гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений, изучение и опробование горных выработок и скважин, испытания и анализы образцов, рядовых, технологических и технических проб. По результатам геологоразведочных работ составляются планы и разрезы, отражающие условия залегания, морфологию и строение полезных ископаемых, выясняется качественная характеристика полезного ископаемого и подсчитываются его запасы. По совокупности полученных данных производится геолого-экономическая оценка месторождения как возможной минерально-сырьевой базы горнодобывающей промышленности. Решение всех этих задач создает условия для планомерного, рационального и научно обоснованного использования недр, обеспечивает полноту их изучения и потребности страны в минеральном сырье.

Геологоразведочные работы представляют собой начальное звено горнодобывающей отрасли промышленности. Предметом труда для нее являются недр, а продуктом труда — разведанные и оцененные в недрах запасы минерального сырья. Вследствие специфических особенностей объектов исследований труд геологов далеко не всегда приводит к желаемому конечному результату. Только по завершении полного комплекса геологоразведочных работ труд разведчика получает материальную оценку, овеществляясь в разведанных запасах полезного ископаемого. В этом случае запасы приобретают потребительную стоимость и могут служить предметом труда, удовлетворяя потребности общества.

Как отрасль материального производства геологоразведочные работы развиваются по законам политической экономики, а их

проведение и планирование регулируются законами отраслевой экономики.

Успешное проведение геологоразведочных работ возможно только на достоверной научно-методологической основе, создание которой входит в задачу учения о разведке недр. Основоположник учения о разведке недр В. М. Крейтер определил его как самостоятельную прикладную геолого-экономическую науку.

Основная цель учения о разведке недр сводится к разработке научно обоснованных методов наиболее эффективного выявления промышленной значимости природных скоплений полезных ископаемых и методов их геолого-экономической оценки.

Предметом изучения разведки недр служат локальные участки земных недр, содержащие природные скопления полезных ископаемых, которые могут рассматриваться как возможные источники минерального сырья для удовлетворения потребностей народного хозяйства.

Основной метод познания разведки недр — моделирование месторождений и важнейших свойств полезных ископаемых на основе выборочных геологоразведочных данных, с последующей количественной геолого-экономической оценкой изучаемого объекта.

Научные основы разведки недр включают систему основных идей, отражающих объективные законы развития геологических процессов, приводящих к образованию полезных ископаемых, закономерности их пространственного размещения в геологических структурах, принципы и научно обоснованные приемы изучения неоднородности строения недр, основы моделирования месторождений и свойств полезных ископаемых в недрах. Знание геологических основ обеспечивает целенаправленное развитие разведочных работ, локальное прогнозирование масштабов возможных скоплений минерального сырья и правильную оценку запасов полезных ископаемых в пределах разведанных площадей и глубин. Знание методологических основ необходимо для эффективного проведения геологоразведочных работ и оценки их результатов, с учетом влияния конкретных условий горной технологии и разведки на наблюдаемые характеристики пространственной изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах.

§ 2. Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности в недрах

Полезными ископаемыми называются природные минеральные вещества в земной коре, которые при существующем уровне развития производительных сил пригодны для промышленного использования. Извлеченные из недр, они представляют собой минеральное сырье.

По содержанию и назначению твердые полезные ископаемые разделяются на рудные, нерудные и горючие. Особую группу образуют жидкие и газообразные полезные ископаемые.

Рудные полезные ископаемые содержат минералы или минеральные соединения, которые при существующем уровне развития техники и экономики служат источниками получения различных химических соединений или элементов (металлические, химические и агрономические руды).

Нерудными называются полезные ископаемые, продуктами переработки которых являются минералы или кристаллы (абразивы, диэлектрики, драгоценные или поделочные камни, пьезо- и оптические минералы), а также полезные горные породы, которые используются промышленностью без существенной переработки (флюсы, огнеупоры, строительные и керамические материалы).

К числу твердых горючих полезных ископаемых относятся угли, горючие сланцы, асфальтиты и озокериты.

Среди жидких и газообразных полезных ископаемых выделяются: горючие полезные ископаемые (нефть, горючие газы); пресные, минеральные, соленые и нефтяные воды и инертные газы.

Месторождениями полезных ископаемых называются пространственно-обособленные скопления минеральных веществ в земной коре, которые в количественном и качественном отношении отвечают современным требованиям промышленности и по совокупности природных условий пригодны для промышленного использования. Крупные и средние месторождения могут служить минерально-сырьевой базой самостоятельного горнодобывающего предприятия.

Минеральные скопления в земной коре становятся месторождениями только при условии экономической целесообразности их промышленного использования. Важнейшими критериями их промышленной ценности являются:

- качество и количество минерального сырья в недрах;
- технологические свойства минерального сырья;
- горно-геологические условия эксплуатации месторождения;
- географо-экономическое положение месторождения.

Совокупность перечисленных критериев определяет комплекс требований к изученности запасов минерального сырья в недрах.

Качество минерального сырья зависит от его химических, физических и технических свойств, совокупностью которых определяется способность полезного ископаемого удовлетворять потребности общественного производства, а также от условий его промышленного использования и технологии переработки.

Качество металлических, химических и агрономических руд определяется их вещественным (химическим и минеральным) составом и характеризуется содержаниями полезных компонентов и вредных примесей.

Содержание полезных компонентов (элементов или полезных минералов) выражается весовыми процентами в расчете на воздушно-сухую руду. Выбор единиц измерения зависит от вещественного состава, условий технологической переработки и дальней-

Группировка различных видов минерального сырья по качеству

шего использования руд. Качество руд определяется процентным содержанием металлов (железо, марганец, молибден, кобальт, никель, медь, свинец, цинк, олово, ртуть, сурьма, мышьяк, золото, серебро, платина) или окислов соответствующих элементов (WO_3 ; V_2O_5 ; Li_2O ; BeO ; Nb_2O_5 ; Ta_2O_5 ; TiO_2 ; ZrO ; K_2O ; B_2O_3 ; Cr_2O_3 ; P_2O_5 ; SrO).

Качество рудоносных песков в россыпях выражается обычно в весовых единицах полезных компонентов на 1 м^3 песков.

Вредные примеси оказывают существенное влияние на оценку качества некоторых руд. Для руд железа и марганца вредными примесями являются сера и фосфор, для бокситов — кремнезем, сера, для золотых руд — мышьяк, для силикатных никелевых руд — медь, для фосфоритов — магний, для серных руд — общий углерод, битумы, мышьяк и селен.

По содержанию полезного компонента с учетом требований промышленности и существующих технологических схем их переработки выделяются богатые, рядовые и бедные руды (табл. 1). Богатые руды обычно хорошо перерабатываются и требуют меньшего количества обогащательных операций по сравнению с рядовыми и убогими рудами. Иногда они поступают непосредственно в металлургический передел, минуя стадию обогащения (например, богатые мартитовые или сидеритовые руды с содержанием железа более 50%).

Качество полезных минералов и кристаллов определяется: содержанием полезных минералов и совокупностью показателей, характеризующих их специфические физические свойства (прочность, гибкость, длину волокна и кислоторастворимость для асбеста, размер пластинок, их ровность, наличие проколов и термостойкость для слюд, оптические свойства, размеры, качество кристаллов для пьезооптического сырья и т. д.).

Качество полезных горных пород оценивается по совокупности тех технических свойств, которыми определяется их промышленная ценность. Для оценки качества горючих полезных ископаемых первостепенное значение имеет их теплотворная способность и ряд других специфических свойств.

Качество минерального сырья существенно повышается, когда в его составе присутствуют несколько полезных компонентов. Если извлекаемые полезные компоненты сопоставимы по своей ценности, то минеральное сырье называется комплексным. Кроме комплекса основных полезных компонентов в составе минерального сырья часто присутствуют многочисленные сопутствующие полезные компоненты в виде элементов, образующих собственные минеральные формы или рассеянные элементы. Для эффективного использования минерального сырья в народном хозяйстве для каждого его вида промышленностью устанавливаются качественные показатели, при которых экономически целесообразно использование данного вида сырья.

Количество минерального сырья определяется его массой. Промышленное использование находящегося в недрах ми-

Вид минерального сырья	Ведущий полезный компонент	Качественная характеристика минерального сырья (руд)		
		богатые	рядовые	бедные
Железо Флюорит Хром Фосфориты	Fe CaF ₂ Cr ₂ O ₃ P ₂ O ₅	> 50% > 50% > 45% > 25%	50—30% 35—50% 30—45% 16—25%	30—22% 35—14% 30—24% 16—8%
Сурьма	Sb	Десятки процентов	Проценты	Доли процента
Полиметаллы Медь, олово	Pb, Zn Cu, Sn	Проценты	Десятые доли процента	Первые десятые доли процента
Молибден Вольфрам, ртуть Кобальт, ниобий Литий, уран	Mo WO ₃ , Hg Co, Nb ₂ O ₅ Li ₂ O, U	Первые проценты, десятые доли процента	Первые десятые доли процента	Сотые доли процента
Редкие земли Бериллий, тантал	TR BeO, Ta ₂ O ₅	Десятые доли процента	Сотые доли процента	Первые сотые доли процента
Золото	Au	> 15 г/т	5—15 г/т	Первые граммы на тонну
Алмазы	Алмаз	Более одного карата на 1 т*	Десятые доли карата на 1 т	Первые десятые доли карата на 1 т

* 1 карат равен 0,2 г

нерального сырья целесообразно только в тех случаях, когда его количество превышает некоторый минимальный предел.

Запасом полезного ископаемого называется количество минерального сырья в недрах, отвечающего по своему качеству современным требованиям промышленности. Запасы всех коренных месторождений полезных ископаемых выражаются массой руды. Для тех видов минерального сырья, которые после добычи подвергаются процессу обогащения, обычно подсчитываются и запасы полезных компонентов в руде. В зависимости от вида минерального сырья и масштабов полезной минерализации запасы полезных ископаемых в отдельных месторождениях изменяются от миллиардов тонн до килограммов. Запасы россыпных месторождений учитываются кубическими метрами рудоносных песков, а запасы полезных компонентов в них — весовыми единицами.

Масштабы месторождений полезных ископаемых определяются запасами минерального сырья. В зависимости от масштабов вы-

Таблица 2

Группировка месторождений различных твердых полезных ископаемых по масштабу

Полезные ископаемые	Масштабы месторождения, т			
	уникаль- ные	крупные	средние	мелкие
Железные руды	$>10^9$	$1 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^7$	$<5 \cdot 10^7$
Апатиты	—	$>2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^7$	$<5 \cdot 10^7$
Марганцевые руды	$>2,5 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8 - 7,5 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7 - 2,5 \cdot 10^7$	$<2,5 \cdot 10^7$
Бокситы	$>2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8 - 2,5 \cdot 10^7$	$<2,5 \cdot 10^7$
Медь	$>5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^5$	$<1 \cdot 10^5$
Свинец	$>1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5$	$<1 \cdot 10^5$
Молибден	$>1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^3$	$<5 \cdot 10^3$
Олово	$>5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^3$	$<3 \cdot 10^3$
Сурьма	—	$>3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4$	$<1 \cdot 10^4$
Ртуть	$>1,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^3$	$<1 \cdot 10^3$
Золото	$>1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10$	$5 \cdot 10 - 1 \cdot 10$	<10
Исландский шпат	—	>1	$1 - 10^{-1}$	$<10^{-1}$

деляются уникальные, крупные, средние и мелкие месторождения (табл. 2).

Уникальные месторождения единичны во всем мире. Крупные месторождения насчитываются десятками в мире. Ими определяются минерально-сырьевые базы ведущих предприятий горнорудной промышленности. Средние месторождения служат минерально-сырьевой базой рядовых предприятий. Мелкие месторождения не имеют самостоятельного промышленного значения. Горные предприятия могут создаваться только на базе нескольких таких месторождений.

Качественная и количественная характеристики запасов полезных ископаемых тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Изменение качественной характеристики приводит к изменению запасов полезных компонентов и полезной горной массы. Чем меньше установленное предельное содержание металла, тем больше размеры залежей, запасы руды и запасы металла. Повышение нижнего предела содержания металла улучшает качество руды, но приводит к сокращению размеров залежей и к уменьшению суммарных запасов (рис. 1).

Сведения о содержаниях полезных компонентов без упоминания опробованных мощностей, на которые эти содержания распространяются, не имеют практического смысла. В отрыве друг от друга любой из упомянутых показателей не позволяет высказать даже самого общего суждения о промышленной ценности разведываемого минерального скопления.

Единство и взаимообусловленность качественной и количественной характеристик минерального сырья требуют при оценке месторождений их одновременного учета. Наиболее ценными для народного хозяйства оказываются не те месторождения, которые содержат самые богатые руды, а те, которые обеспечивают мак-

симальные масштабы производства и минимальную себестоимость продукции. Чаще всего к ним относятся крупные месторождения рядовых руд.

Технологические свойства минерального сырья определяют возможность и экономическую целесообразность его переработки с целью извлечения всех полезных компонентов.

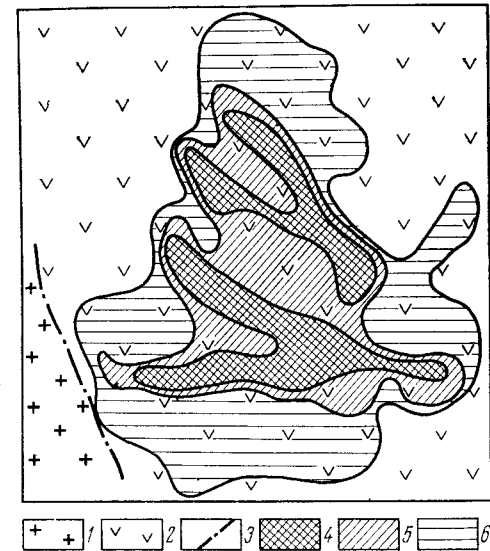


Рис. 1. Изменение площадных запасов штоковеркоподобного месторождения и качества руд в зависимости от оконтуривания их по различным предельным содержаниям металла.

1 — граниты, 2 — монзониты, 3 — тектоническое нарушение, 4 — рудные скопления, оконтуренные по содержанию условного металла 3%, 5 — то же, по содержанию 1%, 6 — то же, по содержанию 0,5%. Среднее содержание условного металла в контуре, 4 — 5%, площадной запас 1600 ед. Среднее содержание условного металла в контуре 4+5 — 2,9%, площадной запас 2650 ед. Среднее содержание условного металла в контуре 4+5+6 — 1,5%, площадной запас 4720 ед.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных компонентов и вредных примесей первостепенное значение имеют:

— минеральный состав сырья, распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам, формы и размеры полезных минералов, характер их сростаний друг с другом, с породобразующими и жильными минералами, текстуры и структуры минеральных агрегатов

— физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельные массы;

— химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Минеральным составом сырья определяется комплекс содержащихся в нем полезных компонентов, а от распределения полезных компонентов по минеральным составляющим зависят технологические схемы и технико-экономические показатели его переработки. Так, например, сульфиды молибдена и сурьмы хорошо флотировались, а сурьмяные и молибденовые охры с трудом извлекаются физическими методами или полностью теряются при обогащении окисленных руд. Олово, связанное со станином, в отличие от кас-

ситерита, не поддается извлечению при переработке оловянных руд. Железо, связанное с магнетитом, полностью выплавляется из руд, в то время как железо, заключенное в силикатах, остается и практически теряется.

От форм и размеров рудных минералов, характера их сочетаний, текстур и структур минеральных агрегатов зависит оптимальная степень дробления руд, обеспечивающая их вскрытие и показатели извлечения полезных компонентов в соответствующие концентраты. Тонковкрапленные руды с тесным взаимным прорастанием отдельных минералов или руды с колломорфными структурами отличаются трудной обогатимостью. Они требуют весьма тонкого измельчения, в результате чего резко повышается количество шлама в пульпе, снижаются показатели извлечения и ухудшается качество концентратов.

Влияние состава вмещающих пород или жильных масс особенно отчетливо проявляется при гидрометаллургическом переделе руд. Так, например, повышенная карбонатность пород снижает эффективность кислотных методов выщелачивания, повышая расход кислоты на тонну перерабатываемой руды.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождения определяют возможность и экономическую целесообразность его разработки с учетом современного состояния горной технологии. Горно-геологические условия эксплуатации зависят от совокупности частных условий, из которых помимо запасов минерального сырья главное значение имеют:

- размеры, морфологические особенности, строение и условия залегания тел полезных ископаемых, определяющие наиболее целесообразные способы их разработки;

- продуктивность месторождения, характеризующая степень сосредоточения полезного ископаемого в отдельных телах и месторождениях в целом. Продуктивность обычно выражается удельным запасом полезного ископаемого, приходящимся на единицу площади или на один метр углубки месторождения;

- гидрогеологические условия месторождения;

- физико-механические свойства полезных ископаемых и вмещающих пород, их устойчивость, трещиноватость, крепость, твердость, буримость, кусковатость, влажность и др.;

- факторы, осложняющие эксплуатацию месторождения и требующие проведения специальных мероприятий: развитие карста, повышенная газоносность месторождения, склонность пород к оплыванию в увлажненном состоянии или к самовозгоранию и др.

Совокупным влиянием перечисленных условий определяются основные технико-экономические показатели горнодобычных работ, себестоимость добычи тонны минерального сырья и полезных компонентов с учетом их потерь и разубоживания руд в процессе отработки месторождения.

Географо-экономическое положение месторождения существенно влияет на уровень затрат, связанных со строительством горного предприятия, и на сроки освоения капи-

тальных вложений. Поэтому для более рационального размещения промышленности в первую очередь должны использоваться природные ресурсы, доступные для быстрого освоения и дающие наибольший народнохозяйственный эффект.

При решении вопроса о промышленной значимости месторождения все перечисленные выше условия требуют обязательной оценки. Недоучет любого из них неизбежно приводит к серьезным просчетам и осложнениям в процессе промышленного освоения, месторождения. Примеры недоучета качества и количества запасов, технологических свойств руд или горно-геологических условий эксплуатации месторождений приведены в работе И. Д. Кога-на [21].

§ 3. Требования производства к проведению геологоразведочных работ и основные принципы разведки недр. Стадии геологоразведочных работ

Основное требование общественного производства к проведению геологоразведочных работ, как и к любой другой отрасли материального производства, сводится к требованию их максимальной эффективности, т. е. к необходимости достижения максимальных результатов при минимальных затратах времени и труда.

О результативности разведки судят по выявленной природной ценности месторождения и по достигнутой степени разведанности запасов в недрах. Чем выше выявленная природная ценность месторождения и достовернее оценка разведанных запасов, ниже уровень затрат и короче срок разведочных работ, тем выше эффективность разведки.

Повышению народнохозяйственной ценности месторождения способствуют:

- полное выявление масштабов полезной минерализации;

- всестороннее изучение качества и технологических свойств полезного ископаемого с выявлением полного комплекса основных и сопутствующих полезных ископаемых и компонентов.

Достоверность геолого-экономической оценки разведанных запасов возрастает при:

- увеличении детальности геологоразведочных работ;

- рациональном комплексировании геологических, геофизических и геохимических методов исследований;

- полном использовании информации, полученной по всем видам геологоразведочных работ.

При реализации требования максимальной эффективности условия полноты исследований приходит в противоречие со стремлением к максимальному ограничению затрат. В оптимальном варианте объем геологоразведочных работ должен быть минимальным по затратам времени и труда, но достаточным для уверенного решения всех поставленных задач.

Для выполнения требования максимальной эффективности разведки месторождения следует продолжать до тех пор, пока затраты на дополнительно получаемую информацию окупаются приростом ожидаемой прибыли от реализации продукции горного предприятия, в связи с уменьшением риска экономических потерь. Практически это означает, что чем больше масштаб и промышленная ценность месторождения, тем полнее и детальнее должен быть комплекс проводимых на нем геологоразведочных работ. С уменьшением масштабов, усложнением условий залегания и геологического строения месторождений, экономически целесообразно ограничивать детальность геологоразведочных работ и, соответственно, сокращать затраты на их проведение.

Методологические подходы к использованию получаемой геологической информации и определению рациональной последовательности геологоразведочных работ определяются принципом аналогий и принципом последовательных приближений. По выборочным результатам геологоразведочных работ нельзя получить исчерпывающих данных о свойствах и строении полезных ископаемых в недрах. Фактические наблюдения ограничиваются разведочными выработками, а окружающие их объемы недр остаются неисследованными. Для суждения о свойствах и строении полезного ископаемого в промежутках между разведочными выработками и за их пределами необходимо привлечение дополнительной информации, которая может быть получена только по принципу аналогии с другими сходными месторождениями.

Использование принципа аналогии основано на том, что однотипные месторождения, сформированные в близких геологических условиях, обладают более или менее ярко выраженными чертами сходства условий залегания, морфологии и строения полезных ископаемых. Это обеспечивает подобие характеристик изменчивости важнейших свойств месторождения-эталона и вновь разведываемого месторождения. Еще в большей степени подобие свойств проявляется для смежных участков одного и того же месторождения и тем более для смежных участков одной и той же залежи.

Решение геологоразведочных задач предполагает необходимость использования самых различных эталонов — от классификаций, систематизирующих основные черты геологического строения рудных полей и месторождений, до геолого-математических эталонов, описывающих количественные характеристики изменчивости свойств полезных ископаемых в масштабах отдельных зон, тел или участков.

Для реализации принципа аналогии в процессе проведения геологоразведочных работ производится выборочная детализация наблюдений в пределах типичных участков разведываемого месторождения. Участки выборочной детализации разведываются по значительно более густой сети и рассматриваются как эталоны, характеризующие детали строения полезных ископаемых в малых

объемах. При оценке результатов разведочных работ представления об их строении по принципу аналогии распространяются на весь разведанный объем недр.

С позиций принципа аналогии создание эталонов-аналогов необходимо на любой стадии геологоразведочных работ.

Согласно принципу последовательных приближений изучение объекта исследований должно осуществляться постепенно — от общего к частному. Сначала выявляются самые общие, наиболее существенные геологические закономерности, а затем переходят к исследованиям деталей, необходимых для решения поставленных перед разведкой задач. Для осуществления принципа последовательных приближений геологоразведочный процесс разделяется на ряд последовательных стадий и операций, на каждой из которых объект исследования изучается со все возрастающей детальностью. По мере развития геологоразведочных работ все они образуют цепь последовательных приближений в познании геологического строения недр.

Изучение начинается с выявления геологических закономерностей, определяющих размещение месторождений в структурах минерализованных полей и крупных залежей, в структурах месторождений. Затем выясняются условия залегания отдельных тел полезных ископаемых и их морфологические особенности, после чего переходят к изучению структур тел полезных ископаемых и, наконец, к детализации сведений о внутреннем строении их отдельных участков.

Действующее положение о стадийности геологоразведочных работ учитывает требования принципа последовательных приближений. Изучение недр начинается с региональных геолого-геофизических работ, за которыми следует стадия поисков месторождений полезных ископаемых. Все выявленные проявления полезных ископаемых изучаются последовательно, проходя стадии предварительной и детальной разведок. Дальнейшая их разведка проводится в условиях действующего горного предприятия.

Первые разведочные операции проводятся уже в конце поисковой стадии — в подстадию поисково-оценочных работ. На этой подстадии отбраковываются явно не промышленные проявления, определяются прогнозные запасы перспективных объектов и устанавливается их принадлежность к тому или иному геологопромышленному типу.

На стадии предварительной разведки выясняются общие масштабы полезной минерализации, среднее качество минерального сырья в недрах, а на участках выборочной детализации наблюдений устанавливаются важнейшие особенности строения залежей. По совокупности этих данных решается вопрос о целесообразности и очередности промышленного использования данного месторождения. Основная задача предварительной разведки заключается в изучении состава и внутреннего строения минерализованных зон или очень крупных залежей и оценке содержащихся в них запасов.

В стадию детальной разведки выясняются все сведения, необходимые для проектирования горного предприятия и начала отработки месторождения. В качестве объектов непосредственного изучения рассматриваются уже не минерализованные зоны, а отдельные слагающие их залежи полезных ископаемых, а на эталонных участках изучаются детали их строения. Основная задача детальной разведки сводится к выявлению особенностей состава и строения залежей полезных ископаемых как самостоятельных объектов отработки и оценке содержащихся в них запасов.

В условиях действующих горных предприятий продолжают поиски и разведка новых залежей на флангах и глубоких горизонтах месторождения (в пределах и в непосредственной близости горного отвода), а на эксплуатируемых участках одновременно с разработкой месторождения проводится эксплуатационная разведка для выявления деталей строения полезного ископаемого и оценки запасов полезных ископаемых в пределах отдельных эксплуатационных единиц—этажей, панелей, блоков или уступов

§ 4. Основы учета и классификации запасов

В соответствии с законодательством СССР о недрах все работы по геологическому изучению недр подлежат государственной регистрации и учету в целях максимального обобщения и использования полученных результатов.

Разведанные и подсчитанные запасы всех видов полезных ископаемых (за исключением месторождений строительных материалов и минерального сырья для предприятий местного значения) подлежат рассмотрению и утверждению в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР), а строительные материалы и местное минеральное сырье— в территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых министерств геологии союзных республик или территориальных геологических управлений (ТКЗ)

Государственный учет запасов полезных ископаемых производится Всесоюзным геологическим фондом Министерства геологии СССР (ВГФ). С этой целью составляется государственный кадастр месторождений, а по каждому виду минерального сырья ежегодно составляются сводные балансы запасов полезных ископаемых

Государственный кадастр содержит сведения по каждому месторождению полезных ископаемых, характеризующие количество и качество запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов, горногеологические условия отработки и геолого-экономическую его оценку, а также сведения по каждому проявлению полезных ископаемых

В государственных балансах содержатся сведения:

- о запасах в недрах по всем выявленным месторождениям и горным предприятиям;
- о запасах, утвержденных ГКЗ СССР,
- о ежегодной добыче и потерях минерального сырья в недрах;
- об обеспеченности действующих и строящихся горных предприятий разведанными запасами данного вида минерального сырья.

Учет и подсчет запасов производятся в соответствии с едиными принципами, установленными классификацией запасов месторождения полезных ископаемых. Согласно этой классификации запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются отдельно для каждого вида минерального сырья. В комплексных рудах, помимо главных компонентов, обязательному учету и подсчету подлежат все промышленно-ценные сопутствующие компоненты, а также полезные вмещающие породы.

Качество полезных ископаемых при подсчете запасов определяется в зависимости от их назначения и технологии переработки с учетом необходимости наиболее полного и комплексного использования основных и сопутствующих ценных компонентов.

Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются по наличию их в недрах без вычета потерь при добыче, обогащении и переработке, а состав и свойства полезного ископаемого определяются в природном состоянии, независимо от возможного разубоживания при добыче. Это требование классификации диктуется необходимостью получения показателей, не зависящих от качества и технического уровня работ горнодобывающего и перерабатывающего предприятия

Запасы полезных ископаемых разделяются по народнохозяйственному значению и по степени их разведанности.

По народнохозяйственному значению запасы полезных ископаемых разделяются на две группы, подлежащие самостоятельному учету,— балансовые и забалансовые

В группу балансовых запасов включаются запасы полезных ископаемых, использование которых экономически целесообразно в настоящее время. Балансовые запасы должны удовлетворять всем требованиям промышленности по качеству, количеству и технологическим свойствам минерального сырья, а также по горно-геологическим и географо-экономическим условиям месторождения.

В группу забалансовых запасов включаются запасы полезных ископаемых, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие: малого их количества, малой мощности залежей, низких содержаний ценных компонентов, сложности условий эксплуатации, необходимости применения сложных и дорогостоящих процессов технологической переработки минерального сырья или неблагоприятных географо-экономических условий месторождения. Обязательным условием отнесения запасов в группу забалансовых

является реальная возможность их промышленного освоения в ближайшем будущем.

Разделение запасов полезных ископаемых на группы балансовых и забалансовых производится по совокупности требований промышленности, обоснованных технико-экономическими расчетами. Совокупность таких требований применительно к условиям каждого конкретного месторождения называется промышленными условиями. Условия к подсчету запасов разведываемых месторождений включают предельно допустимые нормы качества и количества минерального сырья, требования к его технологическим свойствам и к горно-геологическим условиям эксплуатации месторождения с учетом его географо-экономического положения, условий разработки и переработки полезного ископаемого.

По мере изучения месторождения, совершенствования горной технологии добычи и переработки минерального сырья, а также в связи с изменением экономики района месторождения и данной отрасли минерального сырья возникает периодическая необходимость в пересмотре и совершенствовании условий, что способствует вовлечению забалансовых запасов в промышленное освоение и переводу их в группу балансовых запасов.

По степени разведанности запасы полезных ископаемых разделяются на категории А, В, С₁ и С₂. Запасы категорий А, В и С₁ называются разведанными, а категории С₂ — предварительно оцененными. Степень разведанности запасов определяется детальностью изучения:

— условий залегания, форм и строения тел полезных ископаемых;

— закономерностей пространственного размещения и соотношений природных типов и технологических сортов минерального сырья;

— закономерностей размещения участков пустых пород и некондиционных скоплений полезного ископаемого в контурах промышленных залежей;

— качества, технологических свойств полезного ископаемого и природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Для отнесения запасов к категории А необходимо полное выяснение условий залегания, форм и строения тел полезного ископаемого, оконтуривание участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов, выделение и оконтуривание всех участков пустых пород и некондиционных скоплений, полное выяснение качества и технологических свойств всех типов и сортов минерального сырья и факторов, определяющих природные условия проведения горно-эксплуатационных работ. Практически это означает, что в пределах каждого подсчетного блока должны быть установлены все местные отклонения в условиях залегания и контурах тел полезных ископаемых, а детальность выяснения морфологических

особенностей и строения залежей должна обеспечивать только один, единственно правильный вариант увязки разведочных данных по смежным горным выработкам и скважинам (рис. 2). Оценка и оконтуривание запасов категории А производятся по предельно густой сети разведочных выработок только путем интерполяции данных между смежными пересечениями.

Для отнесения запасов к категории В достаточно выяснить основные особенности условий залегания, форм и строения тел полезных ископаемых, основные закономерности пространственного размещения участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов,

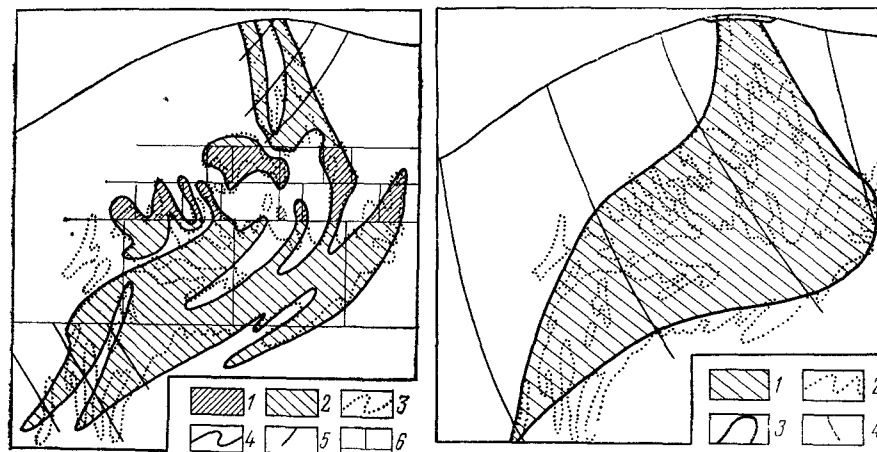


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая деятельность разведки запасов категорий А и В.
1 — запасы категории А; 2 — запасы категории В; 3 — истинные контуры рудной залежи; 4 — контуры разведанных запасов; 5 — разведочные скважины; 6 — разведочные горные выработки

Рис. 3. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории С₁.
1 — запасы категории С₁; 2 — истинные контуры рудной залежи; 3 — контуры разведанных запасов; 4 — разведочные скважины

а также участков пустых пород и некондиционных минеральных скоплений в контурах промышленной минерализации (см. рис. 2), оценить среднеблочные содержания полезных компонентов, основные технологические свойства минерального сырья и основные природные факторы, определяющие условия ведения горно-эксплуатационных работ. Запасы категории В должны быть разведаны и изучены с детальностью, исключающей возможность существенного изменения представлений об условиях залегания тел полезных ископаемых, строения залежей и характере их взаимоотношений с вмещающими породами. Оценка и оконтуривание запасов категории В проводятся по регулярной разведочной сети путем интерполяции разведочных данных между смежными пересечениями. При сравнительно простом геологическом строении за-

лежей допускается незначительное распространение данных за пределы разведанного объема.

Для отнесения запасов к категории C_1 достаточно, чтобы условия залегания, формы и строения тел полезных ископаемых, пространственное расположение и соотношение участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов, расположение участков пустых пород, а также технологические свойства минерального сырья и горно-геологические условия эксплуатации месторождения были выяснены только в общих чертах. Это значит, что для характеристики морфологических особенностей залежей достаточно установить их средние размеры по падению и простиранию, выявить средние значения мощностей и среднечлочных содержаний полезных компонентов, установить элементы залегания и взаимоотношения с вмещающими геологическими структурами. Необходимо также установить, содержатся ли в общем контуре полезные ископаемые различных природных типов и технологических сортов, участки или зоны, сложенные пустыми породами или некондиционными минеральными скоплениями. Для оценки запасов категории C_1 не требуется оконтуривание безрудных участков и участков, сложенных полезными ископаемыми различных типов и сортов, а достаточно только определить их количественные соотношения в общем контуре промышленной минерализации (рис. 3).

При сложном геологическом строении месторождений и отдельных тел полезных ископаемых запасы категории C_1 оцениваются и оконтуриваются по данным регулярной редкой сети разведочных горных выработок или скважин. При сравнительно простом строении залежей оценка и оконтуривание запасов категории C_1 возможны путем ограниченного распространения данных, полученных в пределах детально разведанных участков на примыкающие к ним участки залежей с учетом совокупности геолого-физических наблюдений.

Предварительно оцененные запасы категории C_2 характеризуются низкой степенью разведанности. Их оценка дается по совокупности геологических наблюдений и геофизических данных, подтвержденных вскрытием и опробованием залежи полезного ископаемого в единичных разведочных пересечениях (рис. 4). Когда неразведанные участки залежей полезных ископаемых непосредственно примыкают к участкам разведанных запасов, запасы категории C_2 могут оцениваться по аналогии с разведанными участками без проведения разведочных выработок (рис. 5).

При оценке запасов категории C_2 решающее значение имеет правильное понимание закономерностей локализации оруденения в конкретных геологических структурах, поскольку условия залегания, форма и строение тел полезных ископаемых, качество и другие свойства минерального сырья устанавливаются в данном случае по геологическим соображениям. Контурные запасы категории C_2 проводятся в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Кроме разведанных и предварительно оцененных запасов в практике геологоразведочных работ определяются так называемые прогнозные запасы.

Прогнозные запасы служат для оценки потенциальных возможностей рудных месторождений, полей и районов на основе общих геологических и металлогенических представлений. В отличие от запасов категорий А, В, C_1 и C_2 , прогнозные запасы не геометризуются (т. е. не оконтуриваются в недрах), но определяются

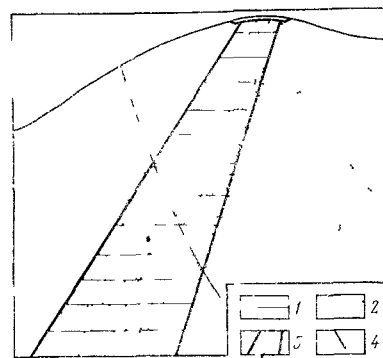


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории C_2 на основании единичных разведочных пересечений.

1 — запасы категории C_2 , 2 — истинные контуры рудной залежи, 3 — контуры разведанных запасов; 4 — разведочные скважины

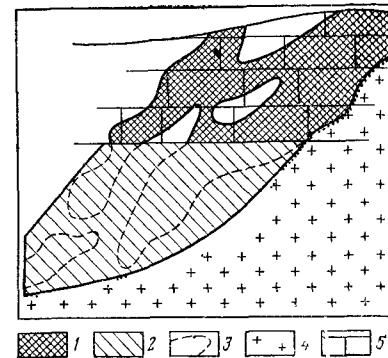


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая возможность оконтуривания запасов категории C_2 по аналогии с детально изученными участками.

1 — детально разведанные запасы; 2 — предварительно оцененные запасы (категория C_2), 3 — истинные контуры залежи, 4 — граниты и их контакт с вмещающими породами, 5 — горные выработки

в цифровом выражении. Иногда прогнозные запасы выражаются двумя цифрами, которые определяют диапазон их наиболее вероятных значений, а содержания полезных компонентов прогнозируются в качественной форме (бедное, рядовое, богатое сырье).

При оценке прогнозных запасов различают запасы рудных месторождений, рудных полей и рудоносных районов.

При детальной разведке новых месторождений в зависимости от сложности их геологического строения классификацией запасов установлены оптимальные соотношения разведанных запасов категорий А, В и C_1 . С этой целью месторождения полезных ископаемых разделяются на три группы.

К первой группе относятся месторождения простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов.

Ко второй группе относятся месторождения сложного строения с невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или с неравномерным содержанием полезных компонентов.

К третьей группе относятся месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых

или с исключительно невыдержанным строением полезных компонентов

Соотношения разведанных запасов категорий А, В, С₁ при детальной разведке месторождений различных групп см. в табл. 3.

При подготовке месторождений второй и третьей групп к промышленному освоению горно-геологические условия их будущей

Таблица 3

Соотношение запасов категорий А, В и С₁ (в %) при детальной разведке месторождений полезных ископаемых

Группа месторождения	Соотношение разведанных запасов категорий		
	А	В	С ₁
Первая	Не менее 10	20	70
Вторая	—	20	80
Третья	—	—	100

эксплуатации, качество и технологические свойства минерального сырья должны быть изучены в процессе детальной разведки полностью, с достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия.

На разрабатываемых месторождениях рациональные соотношения запасов категорий А, В, С₁ устанавливаются для каждого горнодобывающего предприятия в пропорциях, обеспечивающих нормальное

ведение горноподготовительных и очистных работ в соответствии с его производственным планом.

§ 5. Критерии степени разведанности запасов

Действующая классификация предусматривает использование только качественных критериев степени разведанности запасов, роль которых играют категории запасов. Количественная оценка степени разведанности запасов представляет собой сложную задачу, так как вследствие выборочного характера геологоразведочной информации она может быть получена только путем сопоставления модели разведанного месторождения с моделью, которая будет создана по результатам его вскрытия и отработки. Знать же эту оценку нужно уже к моменту завершения геологоразведочных работ. Кроме того, до сих пор не выработано единого подхода к выбору показателей количественной оценки степени разведанности запасов.

Трудности, связанные с получением сравнительных оценок степени разведанности запасов, преодолеваются двумя путями:

— созданием типизированных геолого-математических моделей отработанных месторождений — аналогов данного геологопромышленного типа;

— созданием эталонов в пределах типичных участков разведываемых месторождений путем выборочной детализации разведочной сети.

Чем больше сходство разведываемого месторождения и месторождения-аналога, чем ближе расположены эталонные участки данного месторождения к оцениваемым участкам недр и отчетливее их подобие, тем достовернее окажутся количественные оценки

ожидаемых погрешностей подсчета запасов разведываемого месторождения.

Пределы допустимых погрешностей в оценке количества и качества полезного ископаемого в недрах для различных категорий запасов действующей классификацией не устанавливаются. Это связано с тем, что категория запасов определяется густотой сети наблюдений, в то время как точность подсчета запасов зависит прежде всего от количества наблюдений в пределах разведанного участка недр и в меньшей степени — от густоты сети наблюдений. При разноточности сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках различных размеров, погрешности вычисления среднеблочных оценок могут быть примерно одинаковыми, в то время как степень разведанности блоков будет резко различаться.

Понятия разведанности и точности подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории С₁ разделяются на более мелкие блоки категории В, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории А. Поэтому функциональные связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникают.

При оценке достоверности результатов разведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр.

Степень разведанности запасов характеризуется детально выявлением условий залегания, форм и строения полезных ископаемых, а также условий их пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена погрешностями геометризации разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах, для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована погрешностями оценок их качества и количества в оконечных объемах недр.

Из определения понятий разведанности и точности подсчета запасов вытекает важный вывод о том, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения.

В практике геологоразведочных работ точность подсчета разведанных запасов оценивается для категории А, В или С₁ примерно одной и той же погрешностью, но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к различным по величине объемам недр.

Раздел первый

Научные и методологические основы разведки недр

Научные основы разведки месторождений полезных ископаемых развивались в недрах геологических наук по мере того как геологические знания использовались для решения важнейших геологоразведочных задач. Они создавались трудами нескольких поколений отечественных и иностранных геологов. Среди них на первом месте стоят имена А. Д. Архангельского, А. Г. Бетехтина, Ю. А. Билибина, К. И. Богдановича, В. И. Вернадского, А. А. Гапеева, И. М. Губкина, А. П. Карпинского, Д. С. Коржинского, В. М. Крейтера, В. А. Обручева, В. И. Смирнова, С. С. Смирнова, П. И. Степанова, Н. М. Страхова, М. А. Усова, А. Е. Ферсмана и многих других геологов. Из иностранных ученых наибольший вклад в развитие геологических основ разведки внесли В. Гольдшмит, Л. Грейтон, В. Линдгрэн, Т. Лавринг, В. Ньюхауз, П. Рамдор, Д. Сперр, Г. Шнейдерхен и В. Эммонс. Вопросы геологии, минералогии и геохимии самых различных полезных ископаемых разрабатываются и углубляются в настоящее время советскими геологами и геологами других стран мира. С каждым годом совершенствуются представления об условиях образования месторождений полезных ископаемых и закономерностях их пространственного размещения в геологических структурах земной коры.

Методологические основы разведки складывались и совершенствовались по мере расширения сырьевой базы и развития отечественной горнорудной промышленности. В дореволюционное время разведочное дело не имело самостоятельного развития и рассматривалось как один из разделов учения о полезных ископаемых и горного искусства. Такое положение сохраняется и по настоящее время в большинстве зарубежных стран. Становление учения о разведке недр как самостоятельной научной дисциплины связано с периодом восстановления народного хозяйства и индустриализации нашей страны. Первая работа по экспертизе и оценке рудных месторождений была опубликована Н. И. Трушковым в 1922 г. В 1924 г. в Петроградском горном институте К. П. Марковым впервые был прочитан курс разведочного дела. С 1927 г. этот курс читался И. С. Васильевым, которым впервые систематически изложены важнейшие методические положения разведки.

Основоположником учения о поисках и разведке полезных ископаемых по праву считается В. М. Крейтер. Им были организованы кафедры методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых в двух московских вузах — в Московском гео-

логоразведочном институте и Институте цветных металлов и золота и создана советская школа геологов-разведчиков. Его фундаментальный труд «Поиски и разведка полезных ископаемых», изданный в 1940 г., несколько раз переиздавался в последующие годы и стал настольной книгой всех геологов-разведчиков нашей страны. Большое влияние на развитие теории и практики разведки, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых оказали исследования Н. В. Барышева, В. М. Борзунова, И. Д. Когана, К. Л. Пожарицкого, А. П. Прокофьева и В. И. Смирнова.

Работы многих отечественных исследователей посвящены изучению изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах и методам ее количественного описания. Научные основы геометризации недр были заложены исследованиями П. К. Соболевского (1926—1932 гг.), который предложил рассматривать залежи полезных ископаемых как совокупности взаимно связанных элементарных геохимических полей и сформулировал принципы геометрического моделирования. Позже для описания характера изменчивости свойств полезных ископаемых А. С. Власовым, Д. А. Казаковским и другими было предложено использовать первые или вторые последовательные разности значений показателей изменчивости по смежным точкам.

В течение многих лет для количественной характеристики степени изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах использовались методы теории вероятности и математической статистики случайных величин. Однако их возможности ограничивались узким кругом задач, так как любой статистический показатель отражает только средний уровень изменчивости изучаемого свойства и не учитывает влияния пространственного расположения точек наблюдений.

Необходимость одновременного учета случайных и закономерных пространственных изменений наблюдаемых признаков была убедительно показана исследованиями П. Л. Каллистова (1956 г.). Для характеристики закономерной составляющей их изменчивости он предложил использовать длины полупериодов и амплитуды колебаний сглаженной «кривой регрессии», а для характеристики случайной составляющей — дисперсии случайных отклонений, рассчитанные не от генеральной средней, а от кривой регрессии, которая рассматривалась им как «скользящая» средняя ряда.

В публикациях шестидесятых годов появились описания изменчивости оруденения, учитывающие не только природу полезного ископаемого, но и конкретные условия разведки месторождений, основанные на использовании прикладных методов теории случайных функций и гармонического анализа (З. Д. Низгурецкий, 1961 г.; А. М. Марголин, 1965 г.; В. А. Букринский, 1966 г.).

Использование случайных функций в качестве модели изменчивости изучаемых признаков позволило рассматривать их изменения как функцию расстояния между смежными пунктами наблюдений. Для учета влияния форм и размеров проб, а также разведенных объемов на статистические характеристики изменчивости

свойств полезных ископаемых появилась необходимость в применении системного подхода к изучению неоднородности природных образований. Первые шаги в этом направлении были сделаны исследованиями Л. И. Четверикова и М. В. Раца (1968 г.). В настоящее время исследования многих отечественных геологов-разведчиков развиваются в области применения методов теории вероятности, статистики случайных функций, гармонического анализа и многомерного статистического анализа случайных величин для решения важнейших геологоразведочных задач. Из зарубежных работ этого направления обращают на себя внимание исследования Х. де Вийса, Э. Карлье, Д. Криге и Ж. Матерона.

Серьезные вклады в разработку методологических основ разведки сделаны в последние годы сотрудниками Всесоюзных научно-исследовательских институтов Экономки минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС), Минерального сырья (ВИМС), Геологоразведочного института (ЦНИГРИ) и коллективами геологоразведочных кафедр ведущих вузов страны (МГРИ, ЛГИ, ИПИ и др.).

Глава I

Геологические основы разведки недр

Для научного обоснования методики и направления разведочных работ необходимо знать условия формирования и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых в структурах земной коры. Совокупность этих знаний представляет собой геологические основы разведки месторождений полезных ископаемых.

Изучением условий формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых в недрах занимается геология полезных ископаемых. Основная задача этой науки — разработка теории рудообразования, познание геологических и физико-химических условий формирования месторождений и выяснение причин их размещения в конкретных геологических структурах для создания модели процессов рудообразования и генетической классификации месторождений полезных ископаемых.

Современное состояние теории рудообразования еще не позволяет создать такую генетическую классификацию полезных ископаемых, которая исчерпывающе полно удовлетворяла бы запросам практики поисково-разведочных работ. Современные классификации, основанные на совокупности главным образом предполагаемых, а не наблюдаемых признаков, страдают необъективностью, вследствие чего принадлежность конкретных, даже хорошо изученных месторождений к тому или иному генетическому подразделению часто остается дискуссионной.

Анализируя мировой опыт геологоразведочных и добычных работ, разведка опирается не только на теорию рудообразования, но в значительной мере на эмпирически установленные геологиче-

ские закономерности, используя их для решения прикладных задач. К ним относятся.

— сведения о геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых,

— знание структур рудных полей, закономерностей пространственного размещения скоплений полезных ископаемых и их связей с элементами геологического строения минерализованных участков недр,

— особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр,

— сведения о вещественном составе полезных ископаемых и об их минералогической зональности.

Совокупность сведений о геолого-промышленных типах месторождений уже изученных и освоенных промышленностью, используется в качестве важнейшей геологической информации при разведке и оценке новых месторождений. Геолого-промышленные типы месторождений рассматриваются как эталоны-аналоги, что способствует эффективному применению принципа аналогии в разведке.

Без знания структур рудных полей и связей полезных ископаемых с элементами строения минерализованных участков недр нельзя создать геологическую основу для научного направления геологоразведочных работ, обеспечить максимальную вероятность обнаружения новых промышленных скоплений и их правильную оценку.

Знание закономерностей строения физических и геохимических полей минерализованных участков недр способствует выяснению структур рудных полей и месторождений, правильной оценке разведанных запасов, прогнозу и выявлению новых участков полезной минерализации.

Сведения о вещественном составе и зональности строения полезных ископаемых необходимы для оценки форм проявления полезной минерализации, ее прогноза на флангах и на глубоких горизонтах месторождений, оценки технологических свойств минерального сырья, разработки способов его обогащения, передела и извлечения полезных компонентов.

§ 1. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых

Далеко не все природные типы месторождений полезных ископаемых играют заметную роль в балансе их запасов и добыче. Основная масса добываемого в мире минерального сырья поступает только из некоторых, численно весьма ограниченных природных типов месторождений, хотя единичные месторождения самых различных генетических типов успешно используются промышленностью. Так, железо добывается из 30 месторождений, а медь — более чем из 15 месторождений различных генетических типов, в то время как определяющую роль в балансах запасов и в добыче же-

Важнейшие геолого-промышленные типы рудных месторождений

№ п/п	Геолого-промышленный тип месторождений (рудные формации)	Тип рудовмещающей структуры	Морфология и строение рудных залежей	Состав руд	Комплекс полезных металлов		Примеры
					главных	сопутствующих	
1	Докембрийские железистые кварциты и коры их выветривания	Слоистые и складчатые структуры метаморфогенных пород, по слоистые тектонические нарушения и секущие нарушения линейных кор выветривания	Пластоподобные залежи с выдержанной мощностью. Богатые руды обладают сложным прерывистым строением. В корях выветривания сложные по форме плащеобразные залежи	Магнетитовые, гематитовые и маргитовые руды. Содержание железа в переотложенных богатых рудах 42—58%, в железистых кварцитах 20—40%	Железо	—	Кривой Рог, КМА, Верхнее Озеро (США), Бихар (Индия)
2	Докембрийские метаморфизованные стратиформные полиметаллические месторождения	Слоистые и складчатые структуры, послонные и секущие срывы вмещающих пород, обычно карбонатного состава	Выдержанные пласто- и линзообразные залежи с тонким метасоматическим строением. Форма залежей часто осложнена процессами метаморфизма	Руды сульфидно-карбонатно-кварцевые с преобладанием пирротина, пирита, галенита и сфалерита. Содержание полиметаллов до 10% и более в богатых и около 2—8% во вкрапленных рудах	Свинец (обычно преобладает), цинк	Медь, серебро, олово, мышьяк, германий, индий, таллий	Горевское, Холонинское, (СССР), Сул-ливан (Канада), Брокен-Хилл (Австралия)
3	Докембрийские золотоносные и ураноносные конгломераты	В базальных горизонтах в связи со слоистостью и литологическим составом нижнепротерозойских пород	Выдержанные пластовые залежи со сложным внутренним строением, линзующиеся пропластки с элементами струйчато-сти	Золото- и ураноносные руды. Содержание золота 10—20 г/т, урана 0,03—0,12%	Золото, уран	Часто золото или уран	Витватерсранд (ЮАР), Блайнд-Ривер (Канада)
4	Медистые песчаники в толщах пестроцветных пород теригенного происхождения	Стратиграфическое положение, слоистость и литологический состав вмещающих пород	Многоярусные крупные пласто- и линзообразные, кулисообразно залегающие тела полосчатых и вкрапленных руд	Сульфидные, существенно медные руды с содержанием меди 2—5%	Медь	Свинец, цинк, никель, кобальт	Джезказган, Родезия, Катанга
5	Месторождения медноколчеданных руд в вулканогенных породах	Слоистые и складчатые структуры вулканогенно-осадочных пород, трещинные и вулканотектонические структуры	Линзо- и лентообразные залежи массивных вкрапленных, реже полосчатых руд различных размеров	Существенно пиритовые руды с халькопиритом, сульфидами свинца и цинка. Содержание меди, свинца и цинка от долей до 10% и более	Медь, свинец, цинк	Сера, серебро, золото, кадмий, индий, селен, теллур, мышьяк, висмут, таллий	Медноколчеданные месторождения Кавказа и Урала. Полиметаллические колчеданные месторождения Алтая, Рио-Тинто (Испания)
6	Осадочные геосинклинальные месторождения бокситов	Слоистость прибрежно-морских карбонатных пород в низах трансгрессирующих серий. Один или несколько стратиграфических горизонтов	Невыдержанные по мощности пластообразные или сближенные линзообразные залежи сплошного строения	Бемитовые и диаспоровые оолитовые руды с содержанием Al_2O_3 около 50—60% и SiO_2 до 10—15%	Алюминий		Месторождения Урала и Южной Франции
7	Скарновые медно-кобальтово-железорудные месторождения	Зоны контактов карбонатных и силикатных пород	Крупные пласто- и линзоподобные залежи сложных форм со сплошными, вкрапленными или полосчатыми рудами	Магнетитовые руды с подчиненным количеством сульфидных руд. Содержание железа 30—55%	Железо	Медь, кобальт	Соколовско-Сарбайское, г. Магнитная
8	Месторождения редкометальной рудной формации	Апикальные зоны гранитных интрузивов и их доконтакты в связи с системами	Жилы, жильные зоны и штокверки с неравномерным прожилковомкрап-	Кварц-касситеритовые, кварц-вольфрамитовые и кварц-сульфидно-	Олово, вольфрам	Молибден, медь, свинец, цинк	Джидинское, месторождения Индонезии

№ п/п	Геолого-промышленный тип месторождений (рудные формации)	Тип рудовмещающей структуры	Морфология и строение рудных залежей	Состав руд	Комплекс полезных металлов		Примеры
					главных	сопутствующих	
9	Оловянные месторождения силикатно-сульфидной формации	В связи с гипабисальными интрузиями в флишоподобных и вулканогенных породах. В серицитизированных трещинных зонах дробления	Жилы, жильные зоны, зоны дробления с неравномерным прожилковым и вкрапленным строением	вольфрамитовые руды с содержанием олова и вольфрама в жилах до 1—2%, в штокверках — менее 1%	Олово	Цинк, медь, вольфрам	Эге-Хая, Депутатское (СССР), месторождения Боливии
10	Месторождения молибденово-медных порфировых руд	В зонах вторичных кварцитов в связи с крупными тектоническими зонами или вулканотектоническими структурами	Крупные штокверки и минерализованные массивы с вкрапленным или прожилково-вкрапленным строением	Сульфидные, медные и молибденовые руды с содержанием меди менее 1%, молибдена — десятые и сотые доли процента	Медь, молибден	Цинк, свинец, висмут	Каджаран, Кальмакыр, Коунрад (СССР), Кланмакс, Бинхэм (США)
11	Месторождения сурьмы и ртути в джаспероидах	В литологически благоприятных толщах под экранирующими структурами в связи с трещинной тектоникой и слоистостью пород	Пластоподобные и линзообразные залежи со сложными очертаниями и прерывистым гнездообразным строением	Киноварные или антимонитовые руды с содержанием ртути 0,2—1% и сурьмы 3—7%	Ртуть, сурьма	Золото, медь	Никитовка, Кадамжай, Сарылах (СССР), Альмаден (Испания)
12	Редкометалльные, метасоматические месторождения в альбититах	В апикальных экзоконтактах щелочных гранитоидов и в связи с крупными тектоническими зонами щелочного метасоматоза	Мощные пластоподобные тела с тонковкрапленным или более сложным строением	Убогие редкоземельные руды с содержанием редких земель итровой группы до 1% и колумбит-танталитовые руды с содержанием пятиокси тантала до 0,5%	Тантал, ниобий, редкие земли итровой группы	Редкие земли цериевой группы, цирконий, бериллий, торий, уран	Месторождения Нигерии и СССР
13	Месторождения карбонатитов	С глубинными разломами и ультращелочными магматическими породами на периферии активизированных платформ	Крупные, выдержанные на глубину трубообразные тела со сложным, часто кольцевым и неравномерным прерывистым строением	Пироксоловые тантал-ниобиевые руды с содержанием пятиокси тантала до 0,5%, апатита до 10%, флогопита и магнетита до 20%	Ниобий, тантал	Редкие земли цериевой группы	Месторождения Норвегии, Канады и СССР
14	Месторождения сульфидных медно-никелевых руд	Придонные части дифференцированных интрузивов основного состава в пределах активизированных платформ	Крупные пластоподобные, реже жилкообразные залежи сплошного и вкрапленного строения	Пентландит-халькопирит-пирротиновые руды с содержанием никеля 1—5%, меди 1—2% и более	Никель, медь	Кобальт, платина	Месторождения Канады и СССР
15	Стратиформные месторождения полиметаллов	Горизонты карбонатных пород в связи с зонами послонных срывов и грециноватости	Выдержанные пластоподобные залежи с вкрапленным, прожилковым и гнездовым строением	Существенно сфалерит-галенистового состава. Содержание свинца 2—5%, цинка 3—12%	Свинец, цинк	—	Миргалымсай (СССР), месторождения ф. Миссисипи (США), Марокко и Алжира
16	Латеритные месторождения бокситов	Приповерхностные участки площадных кор латеритного выветривания пород	Крупные плащеподобные обычно зональные залежи со сплошным внутренним строением	Преимущественно гиббситовые и гидраргиллитовые руды с содержанием Al_2O_3 46—60%	Алюминий	—	Месторождения Гвинеи, Ямайки, Индии, Суринама

леза играют только пять, а меди — четыре. В связи с этим в практике геологоразведочных работ появилась необходимость особого выделения геолого-промышленных типов месторождений — основных поставщиков минерального сырья, занимающих ведущее место в балансе мировых запасов и добыче каждого вида минерального сырья.

Понятие о промышленных типах месторождений и их классификация по главным видам минерального сырья были предложены В. М. Крейтером в 1940 году. К числу промышленных типов месторождений он относил только такие, которые обеспечивают не менее 1% мировой добычи данного вида минерального сырья. В понятии промышленный тип объединяются месторождения, зарекомендовавшие себя как устойчивые поставщики данного вида минерального сырья, обеспечивающие экономическую рентабельность их разработки.

Знание промышленных типов месторождений особенно необходимо на ранних стадиях разведочных работ — для предварительного суждения о перспективах промышленной минерализации и для геолого-экономической оценки изучаемых месторождений. Именно на этих стадиях из-за неполноты фактических данных особенно сложно использование принципа аналогии и весьма остро ощущается необходимость в проверенных практикой эталонах.

Единых принципов для выделения промышленных типов месторождений пока что не разработано. Одни геологи принимают за основу генетические признаки, другие — морфологию залежей или минеральный состав полезных ископаемых. Как правило, классификации геолого-промышленных типов месторождений разрабатываются применительно к каждому виду минерального сырья, в результате чего месторождения одного и того же промышленного типа повторяются неоднократно, при рассмотрении различных видов полезных ископаемых. Этот недостаток может быть устранен, если группировать промышленные типы месторождений по формационному принципу, понимая под рудными формациями группы однотипных месторождений, объединенных сходством минерального состава и общностью геологических условий их проявления. Использование формационного принципа способствует повышению геологической информативности прогнозов и более полной оценке вероятного комплекса полезных компонентов. В понятии промышленного типа должны также учитываться технологические, горнотехнические и экономические показатели, определяющие промышленную ценность месторождения. В табл. 4 приводятся важнейшие промышленные типы рудных месторождений, выделенные по формационному принципу, с учетом:

- характера связи оруденения с элементами геологического строения и типа рудовмещающих структур;
- условий залегания, морфологии и строения рудных залежей;
- вещественного состава руд, определяющего их качество, технологические свойства и комплекс промышленно-ценных металлов.

Совокупностью перечисленных классификационных признаков определяются не только промышленный тип месторождения, но и в значительной мере его поисково-оценочные критерии, методика разведки, а также горно-геологические условия эксплуатации.

Понятие промышленный тип месторождения является понятием историческим. Оно изменяется по мере выявления и разведки месторождений новых генетических типов, усовершенствования технологии и технических средств ведения горных работ. В текущем столетии новые промышленные типы появляются главным образом за счет вовлечения в промышленность месторождений крупных по запасам, но бедных по содержанию полезных компонентов, в то время как богатые по содержанию, но мелкие по масштабу месторождения постепенно теряют свое промышленное значение.

§ 2. Структуры рудных полей и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых

В пределах минерализованных участков недр рудные скопления концентрируются в месторождениях, а системы пространственно сближенных рудных месторождений образуют рудные поля. Изучению структур рудных полей посвящены исследования А. С. Великого, Ф. И. Вольфсона, А. В. Дружинина, П. Ф. Иванкина, В. М. Крейтера, Л. И. Лукина, А. В. Пэка, Е. Т. Шаталова и других геологов. Рудные поля рассматриваются большинством исследователей как участки земной коры, объединяющие группы пространственно сближенных эндогенных месторождений и отдельных рудных залежей, связанных единством их происхождения и отделенных от других рудоносных участков большими безрудными пространствами.

Изучение структур рудных полей необходимо для понимания закономерностей размещения эндогенных месторождений. Оно способствует выявлению всех приповерхностных рудных залежей и обнаружению рудных скоплений, скрытых на более глубоких горизонтах. Такое изучение особенно необходимо при наличии глубинной зональности метасоматически измененных пород, зональности рудовмещающих структур и как следствие этого — морфологической зональности рудных залежей.

Зональность метасоматически измененных пород проявляется в том, что на малых глубинах преобладают линейно-локализованные зоны метасоматитов, которые с глубиной сменяются более широкими их полями. Еще глубже околорудные изменения практически сливаются с региональными процессами метаморфизма. В тесной связи с зональностью метасоматитов проявляется структурная зональность. В приповерхностных участках земной коры широко развиты системы разрывных трещин, зоны дробления и брекчирования, трубчатые участки брекчирования (брекчии взрыва), внутрислоевого дробления, отслаивание и трещиноватость

пород, связанные с процессами складкообразования. С глубиной количество трещин разрыва постепенно сокращается, их место занимают трещины скалывания, а в связи со складчатостью в породе развивается кливаж разлома или течения.

Чем длительнее и сложнее геологическая история изучаемого участка земной коры, тем сложнее структура приуроченных к нему рудных полей и месторождений. Каждый новый период тектонических деформаций, накладываясь на ранее сформированные структуры, усложняет их и одновременно создает новые структурные элементы. Складчатые структуры редко испытывают заметную переработку в последующие эпохи диастрофизма. Породы, консолидированные в эпоху складчатости, испытывают в дальнейшем только «глыбовые» движения с обновлением и приоткрыванием ранее сформированных трещинных структур и блокированием отдельных складок. Крупные разломы обычно вновь активизируются в последующие эпохи тектонической деятельности.

Появление морфологической зональности рудных полей зависит от их положения в структурных этажах данного участка земной коры. Влияние структурных этажей проявляется при условии резкого различия по составу и степени метаморфизма пород. Рудные поля, залегающие в образованиях нижних структурных этажей, контролируются зонами крупных региональных разломов или складчатыми структурами, в то время как рудные поля верхних этажей развиваются в трещинных структурах, сопряженных с региональными разломами, образуя жильные зоны и штокверки, контролируются элементами слоистости пород или располагаются в контактовых зонах интрузивных и субвулканических массивов.

Под структурой рудного поля обычно понимают совокупность геологических элементов, определяющих условия пространственного размещения и локализации эндогенных месторождений и тел полезных ископаемых, связанных общностью происхождения. В качестве таких элементов выступают участки пересечения или расщепления региональных разломов и сопряженных с ними разрывных нарушений более высоких порядков, структуры контактов крупных массивов магматических пород, крупные вулкано-тектонические структуры, структуры слоистых толщ, сложенные породами резко различающимися по физико-механическим свойствам и др.

При изучении структур магматогенных рудных полей особенно важно выяснить их пространственные связи с близкими по возрасту магматическими породами. Исследованиями П. Ф. Иванкина [14] показано, что рудные поля представляют собой сложные рудномагматические системы, а их формы и особенности внутреннего строения отражают не только свойства вмещающей геологической среды, но и особенности развития постмагматического рудообразующего процесса. Прерывистость эндогенного оруденения в недрах имеет сложный, многопорядковый характер, но существует определенная закономерность кустовой группировки магматических и рудных тел, которая находит свое выражение в структурах

рудных полей. Несмотря на большое разнообразие форм внутреннего строения и пространственных взаимоотношений рудных полей с магматическими породами, все они могут быть разделены на ореольные (бескорневые) и корневые. Ореольные рудные поля, расположенные в кровлях массивов и интрузивных пород, отличаются сравнительно большой протяженностью, ограниченным развитием на глубину и несимметричным строением без четко выраженных закономерностей в пространственном размещении рудных образований. В отличие от них, корневые рудные поля имеют значительный вертикальный размах, отчетливую коническую симметрию и характеризуются закономерными изменениями структурных особенностей и вещественных параметров с глубиной. Среди них выделяются рудные поля, корни которых расположены внутри крупных массивов интрузивных пород, и рудные поля, корни которых не обнаруживают видимых связей с крупными плутонами.

П. Ф. Иванкиным разработана методика объемного картирования и геометризации магматогенных рудных полей и показано, что по важнейшим свойствам геометрических моделей рудных полей — их размерам, степени уплощенности, углам «конусности» и углам наклона продольных осей, латеральной симметрии и пространственным взаимоотношениям с предполагаемыми «материнскими» интрузивами можно реставрировать глубокие и эродированные части месторождений, прогнозировать вертикальный размах и изменчивость оруденения на глубину.

Понятия структур рудных полей с коррективами на конкретные виды структурных элементов могут быть распространены на все эпигенетические поля нерудных полезных ископаемых.

Основным методом изучения структур рудных полей и месторождений является крупномасштабное геологическое картирование с широким использованием комплексов геофизических и геохимических работ, фототеодолитных, аэрофотографических и других дистанционных съемок, картировочного и структурного бурения, специальных методов исследования трещинных структур и микроструктурного анализа. Главная задача картирования рудных полей для прогнозирования не выходящих на поверхность месторождений и тел полезных ископаемых сводится к созданию объемных моделей, отражающих особенности их глубинного строения. Более полные сведения о структурах рудных полей и методах их изучения приведены Ф. И. Вольфсоном и П. Д. Яковлевым [11].

Многовековым опытом разведки и разработки месторождений установлено, что размещение полезных ископаемых в недрах зависит от состава вмещающих пород, контролируется их элементами залегания, складчатыми и разрывными структурами, зонами метасоматических изменений и другими элементами геологического строения.

Закономерные связи полезных ископаемых со слоистыми толщами, с массивами изверженных пород, элементами складчатых структур и разрывными нарушениями, контактовыми поверхностями разновозрастных геологических образований и элементами про-

тотектоники магматических пород используются как геологоструктурные, поисковые и оценочные критерии полезной минерализации и при обосновании направлений разведочных работ.

По характеру связи с элементами геологического строения скопления полезных ископаемых разделяются на:

— согласные или почти согласные с элементами слоистости вмещающих пород (минерализованные пласты, стратиформные и инфильтрационные месторождения);

— залегающие согласно с контактовыми поверхностями пород различного состава (стратифицированные интрузии, скарны, месторождения выветривания);

— несогласные с напластованием вмещающих пород или залегающие в неслоистых породах, но контролируемые выдержанными, легко картируемыми структурами (минерализованные дайки, зоны и пегматитовые месторождения);

— залегающие в неслоистых породах и контролируемые невыдержанными, сложными, трудно картируемыми элементами геологического строения.

Выявление и правильное понимание характера связей оруденения с важнейшими элементами геологического строения позволяет использовать их при прослеживании и оконтуривании залежей полезных ископаемых, при поисках новых рудных тел в процессе разведочных работ, а также при увязке разведочных данных по соседним пересечениям. Среди самых различных рудоконтролирующих элементов геологического строения наиболее выдержанными являются слоистость и контактовые поверхности вмещающих оруденение пород. Наличие этих элементов рудоконтроля намного облегчает и упрощает проведение разведки, позволяя ограничиваться простыми техническими приемами и средствами. Применению буровых скважин способствует выдержанность и сравнительная легкость картирования главной рудовмещающей структуры, а необходимость использования горно-разведочных выработок возникает в связи с ограниченными размерами рудовмещающих структур, сложностью форм, строения и рудоконтроля отдельных залежей.

§ 3. Особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр

Знание особенностей физических и геохимических полей минерализованных участков недр способствует более полному и глубокому изучению их структур, прогнозу, выявлению и оценке промышленно-ценных месторождений и залежей полезных ископаемых.

Каждое физическое поле определяется своими параметрами, а их изменчивость зависит от пространственного размещения физических свойств пород и полезных ископаемых в исследуемом объеме недр. Магнитные, гравитационные, электрические, сейсмические, тепловые и радиационные поля отдельных залежей полез-

ных ископаемых, месторождений и рудных полей заметно различаются между собой, так как отражают физические свойства различных объемов недр. Так, например, на электрические аномалии, создаваемые рудными полями, отчетливо накладываются аномальные электрические поля более высокого порядка, создаваемые отдельными сульфидными месторождениями, а на них — электрические аномалии еще более высоких порядков, связанные с верхними окисленными участками изолированных рудных тел, расположенными в зоне гипергенеза.

Физические поля детально изученных участков недр устанавливаются однозначно. Однако одинаковое распределение параметров поля может отражать различные соотношения физических свойств, форм, размеров и условий залегания геологических тел, т. е. различное строение изучаемого участка недр. Поэтому обратная задача геофизики — определение структуры изучаемого объема недр по совокупности геофизических данных решается неоднозначно. Она может быть удовлетворительно решена только при том условии, если кроме наблюдаемого поля будут известны физические свойства изучаемых пород и скоплений полезных ископаемых. Для выполнения этого условия дополнительно к сведениям геологического характера в процессе изучения рудных полей, месторождений, залежей полезных ископаемых и вмещающих пород исследуются и систематизируются данные об их физических свойствах — плотности, магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, удельном электрическом сопротивлении, диэлектрической и магнитной проницаемости, электрохимической активности, упругости, радиоактивности, теплопроводности и теплоемкости. Чем шире диапазон и контрастнее изменения физических свойств полезных ископаемых и вмещающих их пород, тем выше эффективность геофизических методов исследования, применительно к решению важнейших геологоразведочных задач.

Эффективному использованию геофизических методов при крупномасштабном геологическом картировании способствуют представления о рудных полях как об объемных трехмерных телах, обладающих определенными геометрическими и физическими свойствами, изменчивость которых определяется совокупным влиянием внешних геологических факторов. На основе этих представлений объектами исследования на ранних стадиях изучения недр должны являться не отдельные месторождения, а рудные поля. Такой подход обеспечивает более уверенный прогноз перспектив глубоких горизонтов и выявление слепого оруденения с помощью современных геолого-геофизических методов, так как выявлению отдельных рудных залежей, обладающих локальными аномальными физическими полями (часто различными на разных эрозионных срезках), предпосылается задача оконтуривания всего рудного поля, обладающего более устойчивым аномальным физическим полем. Знание морфологических особенностей рудных полей облегчает выявление закономерных связей между структурно-геологическими условиями формирования месторождений, типами ми-

неральных тел и, в конечном итоге, между обособленными месторождениями, участками и залежами, что позволяет объединить их в систему рудных образований, имеющих общие корни и объединенные единством происхождения.

Аналогичный подход возможен и к проведению геохимических исследований, сопровождающих крупномасштабное геологическое картирование перспективных рудных районов, если интерпретацию данных геохимического опробования поверхностных горных выработок, картировочных и структурных скважин начинать с выявления аномалий и первичных ореолов, определяющих структуру поля в целом, а затем переходить к выделению локальных аномалий, связанных с отдельными месторождениями или рудными телами.

Использование геохимических данных существенно повышает глубинность прогнозов в связи со значительной вертикальной протяженностью и отчетливой зональностью первичных ореолов элементов-индикаторов полезной минерализации

Важнейшими поисково-оценочными критериями оценки перспектив рудоносности рудных полей, флангов и глубин разведываемых месторождений являются первичные геохимические ореолы рудообразующих элементов, их спутников, элементов и компонентов рудного процесса (K, Na, CO₂, S сульфидная и др.). Обладая заведомо большими размерами по сравнению с рудными телами, эти ореолы являются индикаторами оруденения, которые помогают ориентировать разведочные работы в нужном направлении.

В настоящее время установлено, что многокомпонентные первичные геохимические ореолы сопровождают месторождения любых генетических типов и рудных формаций. Они представляют собой внешние зоны этих месторождений и сходны с ними по минеральному составу.

В процессе геохимических исследований изучаются элементарный состав ореолов, виды и формы нахождения элементов в них, размеры и морфологические особенности эндогенных ореолов, а также закономерности изменения состава и концентраций элементов-индикаторов и компонентов рудного процесса по мере удаления от рудных залежей в стороны, вверх и вниз. Эти закономерности выражают горизонтальную и вертикальную зональность в строении эндогенных ореолов, которая возникает под действием сложного комплекса внутренних и внешних факторов миграции элементов.

Зональность первичных ореолов наиболее четко выражена в направлении движения рудоносных растворов. Она обусловлена преимущественным накоплением одних элементов в надрудной (головной), а других — в подрудной (корневой) частях ореолов. Исследованиями С. В. Григоряна [13] установлено, что для всех эндогенных месторождений характерна качественно близкая зональность, выраженная следующим рядом элементов-индикаторов (в порядке убывания подвижности): Ba—(Sb, As¹, Hg)—Cu¹—

Cd—Ag—Pb—Zn—Sn¹—Au—Cu²—Bi—Ni — Co — Mo—U—Sn²—As²—Be—W.

В строении ореолов наблюдается также и минералогическая зональность. Поэтому некоторые элементы встречаются в ряду зональности дважды (медь, мышьяк, олово). Единый ряд зональности имеет вероятностный характер с доверительными интервалами для каждого из элементов в зависимости от индивидуальных особенностей месторождений.

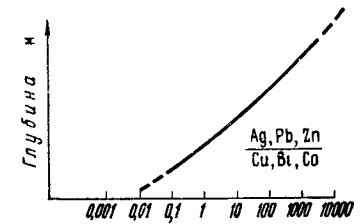


Рис 6. Обобщенный график изменения отношений линейных продуктивных мультипликативных надрудных (Ag×Pb×Zn) и подрудных (Cu×Bi×Co) ореолов полиметаллических месторождений (по С. В. Григоряну)

При использовании суммированных аддитивных или мультипликативных ореолов влияния частных факторов сводятся к минимуму и зональность становится более стабильной. В этих случаях она может быть выражена не только качественно, но и количественно, например, через отношения линейных продуктивностей мультипликативных ореолов для различных сечений геохимического поля (рис. 6).

По составу геохимических ореолов, распределению в них элементов-индикаторов и величинам геохимических аномалий можно уверенно прогнозировать элементарный состав месторождения, выявлять участки промышленного оруденения в перспективных геологических структурах и зонах метасоматических изменений вмещающих пород, различать ореолы промышленно-ценных месторождений от ореолов рассеянной минерализации.

В качестве геохимических поисковых и оценочных критериев при разведке сульфидных, урановых и некоторых других месторождений используются также ореолы элементов-индикаторов в подземных водах.

Для сопоставления и количественной оценки различных геофизических и геохимических полей может быть использован геометрический способ их корреляции, предложенный В. Ф. Мягковым. Способ основан на измерении угла между проекциями градиентов сравниваемых полей. Среднее значение косинуса угла номинально тождественно коэффициенту корреляции, по оценке которого можно судить о степени подобия сопоставляемых полей [29].

§ 4. Состав полезных ископаемых, зональность месторождений и рудных тел

Изучение вещественного состава и минералого-геохимических особенностей полезных ископаемых проводится для:

— выявления парагенетических минеральных ассоциаций и элементов зональности в пространственном размещении химических элементов, минеральных образований и участков гидротермально измененных вмещающих пород, которые используются как минералого-геохимические поисковые и оценочные критерии,

— оценки качества и технологических свойств минерального сырья и выбора наиболее рациональных методов его обогащения, обеспечивающих возможность максимально полного извлечения всех содержащихся в нем полезных компонентов.

Изучение минерального состава и структурно-текстурных особенностей руд позволяет восстановить последовательность отложения продуктов различных стадий минерализации и выяснить фациальные изменения в составе руд. Структуры руд отражают физико-химические условия момента рудоотложения, определяя крупность, строение и способы сочетаний отдельных зерен, а их текстуры — изменения этих условий в течение периода рудообразования. Выявление парагенетических ассоциаций минералов и их возрастных соотношений позволяет судить о тех химических реакциях, которые приводили к выявлению минералов из рудоворов. Знание парагенетических ассоциаций минералов и закономерностей их пространственного размещения способствует прогнозу минерального состава руд на еще не вскрытых флангах и глубоких горизонтах месторождений, оценке состава первичных руд по минеральному составу образований окисленных зон и обнаружению скоплений новых полезных минералов по наличию уже выявленных.

В задачу минералого-геохимических исследований входит детальное изучение химического состава руд и отдельных рудообразующих минералов, окологрудных изменений боковых пород, первичных ореолов рудообразующих элементов и их спутников. На основании детальных геохимических исследований можно прогнозировать содержание редких и рассеянных элементов в рудах многих месторождений. Так, в молибденовых месторождениях обычно встречается рений, в циркониевых — гафний, в полиметаллических — кадмий, индий, галлий, селен, теллур, германий, таллий и др. Выявление примесей редких и рассеянных элементов в рудах повышает ценность месторождения, способствуя более эффективному использованию недр.

При изучении минерального и химического состава полезных ископаемых для оценки качества и технологических свойств минерального сырья первостепенное значение приобретает выяснение размеров и форм минеральных скоплений, их физических свойств и элементного состава. Главное внимание при этом обращается на содержание тех элементов, которыми определяется промышленная ценность руд. Для руд сложного состава выясняется распределение основных и сопутствующих промышленно-ценных элементов по различным рудообразующим минералам, устанавливается валовый химический состав руд и содержания в них вредных примесей.

Изучение окологрудных изменений боковых пород, ореолов рассеяния и рудообразующих элементов и их спутников производится в тесной связи с изучением минерального и химического состава рудных залежей, поскольку в генетическом отношении все они представляют собой единые природные образования.

В явлениях зональности месторождений и тел полезных ископаемых отражаются общие особенности их происхождения и влияния конкретных геологических условий. Поэтому минералогическая зональность обычно тесно связана с зональностью окологрудных метасоматических изменений.

Геологические основы поисков и разведок составляют главное содержание учения о месторождениях полезных ископаемых. Они подробно изложены в работах В. М. Крейтера [22, 43] и особенно полно в монографии В. И. Смирнова [39].

Глава II

Неоднородность природных минеральных образований и изменчивость их свойств

Природные минеральные образования обладают внутренней неоднородностью состава, строения и свойств, которые вследствие недоступности недр познаются с большим трудом. Изучение неоднородности горных пород и минеральных образований возможно только путем выборочного исследования пространственно разбросанных и ограниченных по размерам образцов проб или участков недр. По сравнению с объемом изучаемого месторождения каждая проба или участок наблюдения охватывают элементарно малую его часть. Поэтому состав, строение и свойства полезного ископаемого по данным выборочных наблюдений не соответствуют таковым в объемах крупных минерализованных блоков земной коры. Чем неоднороднее строение минерализованного блока, тем больше несоответствия выборочных значений изучаемых признаков и их средних оценок в исследуемых объемах недр.

Детальность изучения структуры природных скоплений полезных ископаемых определяется густотой сети наблюдений. Редкая сеть даже в самых общих чертах не позволяет судить об их строении. Более густая сеть позволяет судить о генеральных особенностях структур разведываемых участков, а для выявления всех деталей нужна такая сеть наблюдений, при которой расстояния между смежными пробами были бы сопоставимы с размерами самих проб. Это обстоятельство заставляет строго соблюдать принцип последовательных приближений при проведении геологоразведочных работ. При изучении внутреннего строения природных минеральных образований объект исследования рассматривается как сложная геологическая система, состоящая из множества разнообразных условно однородных структурных элементов — элементов неоднородности, объединенных совокупностью внутренних

связей. До тех пор пока характер этих связей не выяснен, можно говорить только о внутренней неоднородности системы. После выяснения пространственной ориентировки важнейших структурных элементов создается представление об анизотропии объекта изучения, а после выяснения всех их взаимосвязей — о его структуре.

В процессе геологоразведочных работ задача сводится к изучению неоднородности скоплений полезных ископаемых, их анизотропии и структуры как основы для выяснения природной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах, что необходимо для выбора методики разведки и оптимизации условий геологоразведочных работ. Изучение неоднородности минеральных скоплений полезных ископаемых должно сопровождаться изучением неоднородности вмещающих их пород. Для решения всех этих задач необходимо знать геологическую природу неоднородности полезных ископаемых, масштабы ее проявления, влияющие размеры проб и сети наблюдений на характеристики изучаемого свойства в оцениваемых объемах недр.

§ 1. Неоднородность строения минерализованных участков недр и масштабы ее проявления

Возникновение первичной неоднородности горных пород и полезных ископаемых связано с периодом их формирования. Первичная неоднородность толщ осадочных пород возникает в связи с изменчивостью условий осадконакопления. Она выражается чередованием слоев различного состава и их фациальной изменчивостью по падению и простиранию. В строении каждого слоя неоднородность проявляется местными изменениями состава пород мелкими пропластками различного состава и мощности, чередованием раздувов и пережимов по падению и простиранию пласта.

Первичная неоднородность массивов магматических пород зависит от условий их формирования и проявляется изменениями состава, текстур и структур пород.

В последующие стадии преобразования осадочных и изверженных пород характер первичной неоднородности пород существенно изменяется под влиянием тектонических деформаций, процессов диагенеза, эпигенеза или метаморфизма. На стадии диагенеза свежего осадка в нем возникают линзы, конкреции, пластообразные стяжения и другие новообразования, на стадии эпигенеза происходит его окаменение с полной перестройкой структуры.

Принципиально новые формы проявления неоднородности возникают под влиянием тектонических деформаций, регионального, контактового и гидротермального метаморфизма осадочных и изверженных горных пород. Все они проявляются избирательно в зависимости от состава, генезиса и свойства вмещающих пород.

Неоднородность скоплений полезных ископаемых в недрах также зависит от условий их происхождения. Неоднородность сингенетических скоплений определяется условиями формирования вме-

щающих пород. Неоднородность эпигенетических скоплений зависит от характера рудовмещающих пород и структур и от особенностей процессов минералообразования. Уменьшению степени неоднородности способствуют хорошая проницаемость вмещающих пород и рудолокализирующих структур, стабильные физико-химические условия процессов минералообразования и спокойные тектонические условия окружающей среды. Степень неоднородности увеличивается при осложнении рудовмещающих структур, неравномерности размещения участков оптимальной пористости и трещиноватости, локальных изменениях физико-химических условий рудоотложения, пульсационном характере эндогенных рудных процессов и неустойчивости тектонического режима.

Эпигенетические преобразования природных скоплений полезных ископаемых и вмещающих их горных пород приводят к частичному или полному изменению первозданных структур в результате разрушения, переотложения, рафинирования или изменения первичных минеральных скоплений. Так возникают зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений, месторождения кор выветривания, метаморфизованные и осложненные пострудной тектоникой месторождения различных полезных ископаемых. Поэтому изучение неоднородности и строения полезных ископаемых должно проводиться в тесной связи с изучением неоднородности вмещающих пород на основе последовательного геолого-исторического анализа развития данного участка земной коры.

Неоднородность горных пород и минеральных скоплений полезных ископаемых проявляется при любых масштабах исследования. Полное выявление особенностей их строения возможно только при весьма детальных исследованиях — в масштабах штуфов и шлифов, когда весь изучаемый объект доступен непосредственному наблюдению. Именно поэтому термины «структура» и «текстура» возникли в петрографии и в учении о рудных месторождениях.

Термином «структура» обозначается совокупность морфологических особенностей строения минеральных агрегатов, которые слагают породу или руду. Структура минеральных агрегатов определяется формой, размерами и способами сочетания кристаллических зерен или обломков. Различают макроструктуру, наблюдаемую в крупнозернистых минеральных агрегатах невооруженным глазом, и микроструктуру, выявляемую в мелкозернистых минеральных агрегатах только под микроскопом.

Термином «текстура» обозначаются особенности сложения пород и руд, которые определяются формой, размерами и пространственным размещением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу и структуре. В зависимости от масштаба проявления выделяют мегатекстуру, макротекстуру и микротекстуру. Мегатекстура определяется взаиморасположением крупных по площади минеральных скоплений, наблюдаемых в обнажениях рудных тел в масштабе забоя или очистного пространства. Мак-

ротекстура устанавливается глазомерно в отдельных рудных штуфах, а микротекстура может быть установлена только под микроскопом

Из приведенных определений можно сделать вывод, что «структура» и «текстура» характеризуют особенности строения природных минеральных образований на различных масштабных уровнях. Кристаллические зерна или обломки минералов определяют структуру минеральных агрегатов и могут рассматриваться как элементы их неоднородности. Минеральные агрегаты представляют собой элементы неоднородности более крупных скоплений полезных ископаемых, образуя в совокупности их текстуру.

Строение участка земной коры, сложенного петрографически однородной магматической породой, часто считается внутренне однородным и характеризуется ее структурой. Реже на характеристику внутреннего строения блока оказывают заметное влияние текстурные особенности пород (например, полосчатые текстуры). Неоднородность их строения отчетливо проявляется только при изучении крупных массивов, сложенных горными породами различного состава.

В отличие от горных пород структуры полезных минеральных скоплений редко определяют особенности их строения в целом. Представления об их строении определяются детальностью исследований и зависят от размеров тех обособленных минеральных скоплений, которые на данной стадии изученности рассматриваются как элементы неоднородности. В зависимости от масштабов исследования это могут быть кристаллические зерна или обломки полезных минералов, агрегаты мономинеральных зерен, пространственно обособленные скопления полезных минералов различных размеров и форм, серии сближенных рудных пластов или минерализованные зоны, состоящие из групп сближенных рудных тел и т. п.

В практике разведки изучение неоднородности строения важнейших видов полезных ископаемых проводится последовательно, на шести структурных уровнях (или в масштабах):

- 1) минерализованных зон (толщ);
- 2) тел полезных ископаемых;
- 3) рудных столбов или других морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых;
- 4) гнезд, шпир или других локальных обособлений полезных ископаемых;
- 5) минеральных агрегатов;
- 6) минеральных зерен или кристаллов.

Под минерализованной зоной подразумевается группа сближенных тел полезного ископаемого, объединенных общностью их происхождения и ограниченных контурами единой рудоконтролирующей геологической структуры. Минерализованные зоны часто имеют линейно-вытянутое поясовое строение, однако они могут быть и более сложными. Если участок повышенной концентрации полезного ископаемого представляет собой систему

сближенных пластов или линзообразных залежей, его лучше называть минерализованной толщей.

Размеры минерализованных зон и толщ могут изменяться в очень широких пределах: от весьма крупных, включающих в себя несколько месторождений, до небольших — объединяющих группы мелких скоплений полезного ископаемого, не имеющих самостоятельной промышленной ценности. Строение минерализованных зон или толщ определяется морфологическими особенностями, взаиморасположением и закономерностями пространственного размещения слагающих их тел и более мелких скоплений полезных ископаемых, которые при данном масштабе исследования рассматриваются как элементы неоднородности.

Тело полезного ископаемого представляет собой ограниченное со всех сторон скопление полезного ископаемого, приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или к сочетанию таких элементов.

Размеры тел полезных ископаемых также изменяются в широких пределах — от метров до километров. В зависимости от размеров, условий залегания и ценности минерального сырья очень крупные тела полезных ископаемых могут представлять собой базу для строительства горного предприятия, а крупные и средние тела — служить объектами самостоятельной разработки внутри данного предприятия. Мелкие и очень мелкие тела обычно не имеют самостоятельной промышленной ценности.

Строение тел полезных ископаемых определяется составом, сочетанием и закономерностями пространственного размещения более мелких структурных единиц — морфологически обособленных участков или локальных скоплений полезного ископаемого. Если в строении тел полезных ископаемых проявляется отчетливая зональность, то в качестве элементов неоднородности выступают их морфологически обособленные участки, а при отсутствии зональности — более мелкие локальные скопления полезного ископаемого.

Морфологические или концентрационные рудные столбы, а в пластовых телах — рудоносные пачки, разобценные прослоями вмещающих пород, или пачки прослоев различной рудонасыщенности, могут быть выделены в качестве морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых. В штокверковых месторождениях выделяются участки прожилковых, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд, участки повышенной рудонасыщенности и убогой минерализации, участки, приуроченные к различным по составу вмещающим породам, или участки, сложенные рудами различного состава. Строение морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых определяется пространственным расположением, морфологией и способами сочетания слагающих их локальных обособлений полезного ископаемого.

Мелкие скопления полезного ископаемого в виде гнезд, шпир, прожилков, оруденелых брекчированных зон, про-

пластков и других подобных им образований условно относятся к числу локальных обособлений. Строение локальных обособлений определяется пространственным расположением слагающих их минеральных агрегатов и часто может быть охарактеризовано текстурой полезного ископаемого.

Минеральные агрегаты, а также зерна или кристаллы изучаются, как правило, петрографическими и минераграфическими методами. Минеральные агрегаты могут быть простыми или сложными. Простые агрегаты состоят из совокупности мономинеральных зерен (или кристаллов нескольких минеральных индивидов), а сложные — по совокупности полиминеральных зерен различного состава, которые в свою очередь представляют собой более мелкие полиминеральные агрегаты.

Размеры отдельных кристаллов, зерен и сростков полезных минералов, выступающих в качестве элементов неоднородности, могут варьировать в весьма широких пределах — от сотых долей миллиметра в мелкозернистых рудных агрегатах до нескольких метров в гигантозернистых редкометалльных пегматитах.

Изучение неоднородности отдельных мономинеральных зерен или кристаллов полезного ископаемого в процессе геологоразведочных работ производится только для пьезокварца, слюды, керамических пегматитов и некоторых других специфических видов кристаллосырья

§ 2. Системный подход к изучению неоднородности

Для реализации принципа последовательных приближений необходимо располагать структурной моделью полезного ископаемого, которая отражала бы изменения представлений об его строении по мере детализации геологоразведочных работ. Создание такой модели возможно с применением системного подхода к изучению строения минерализованных участков недр. С позиций системного подхода минеральные образования земной коры рассматриваются как совокупность соподчиненных систем, каждая из которых состоит из множества условно однородных структурных элементов (элементов неоднородности).

В процессе последовательного изучения степени неоднородности, асимметрии и структуры минерализованных участков недр неизбежно наступает такой момент, когда дальнейшая детализация сведений приводит к тому, что внутри каждого из элементов неоднородности появляется возможность в свою очередь выделить множество более мелких структурных единиц. Реализация такой возможности означает, что изучение объекта перешло на новый, более глубокий уровень его строения. Кроме того, каждый разведваемый объект может рассматриваться как элемент неоднородности более крупной системы, т. е. как часть некоторого более крупного целого. Применение системного подхода в разведке обеспечивает создание универсальной структурной модели полезного ископаемого, пригодной для количественного описания его свойств и выявления взаимосвязей между ними.

Первая модель структуры полезного ископаемого, представляющая собой систему соподчиненных уровней, была предложена Л. И. Четвериковым. В строении тел полезных ископаемых он предложил выделять структурные уровни: тела полезного ископаемого, его зоны, текстуры руд и минерального агрегата [49]. Рассмотренные выше масштабные уровни в строении полезных ископаемых также могут рассматриваться как система шести соподчиненных уровней строения природных образований полезных ископаемых. На рис. 7 показана структурная модель одного из флюоритовых месторождений для природных геолого-структурных уровней минерализованной зоны, рудного тела, его морфологически обособленного участка и локального обособления.

Любая классификация природных уровней строения полезных ископаемых является в известной степени условной. Она зависит от целей и задач исследований, а выделение структурных уровней часто затрудняется природными особенностями месторождений. Однозначное выделение нескольких структурных уровней возможно только при четких геологических границах и резких различиях в размерах элементов неоднородности на каждом структурном уровне. Если же в строении полезного ископаемого принимают участие элементы неоднородности самых разных размеров и с нечеткими геологическими границами, задача выделения структурных уровней усложняется и становится неоднозначной.

В зависимости от природных особенностей полезных ископаемых в их строении может быть выделено от одного-двух до шести-семи и более структурных уровней, количество которых будет объективно отражать сложность их внутреннего строения. Так, например, неоднородность строения многих сингенетических месторождений отчетливо проявляется только на уровне строения минеральных агрегатов и реже на уровне строения локальных обособлений полезного компонента. На более низких уровнях они могут рассматриваться как условно однородные образования, обладающие массивным внутренним строением. Неоднородность эпигенетических месторождений проявляется на большом количестве последовательных структурных уровней, число которых возрастает с увеличением степени прерывистости оруденения (табл. 5).

Оценка неоднородности месторождений полезных ископаемых по количеству соподчиненных структурных уровней может рассматриваться как геологическая основа их разведки, определяющая природную сложность строения разведываемых скоплений полезных ископаемых.

На представлениях о структуре полезного ископаемого оказывают влияние размеры проб. Так, например, строение штокверковой залежи будет считаться однородным, если размеры проб будут заведомо больше размеров рудных прожилков и разделяющих их участков пустых пород, и неоднородным, если опробовать это месторождение пробами небольших размеров (рис. 8). Для получения однозначного решения необходимо выделить в строении штокверка несколько последовательных структурных уровней и уста-

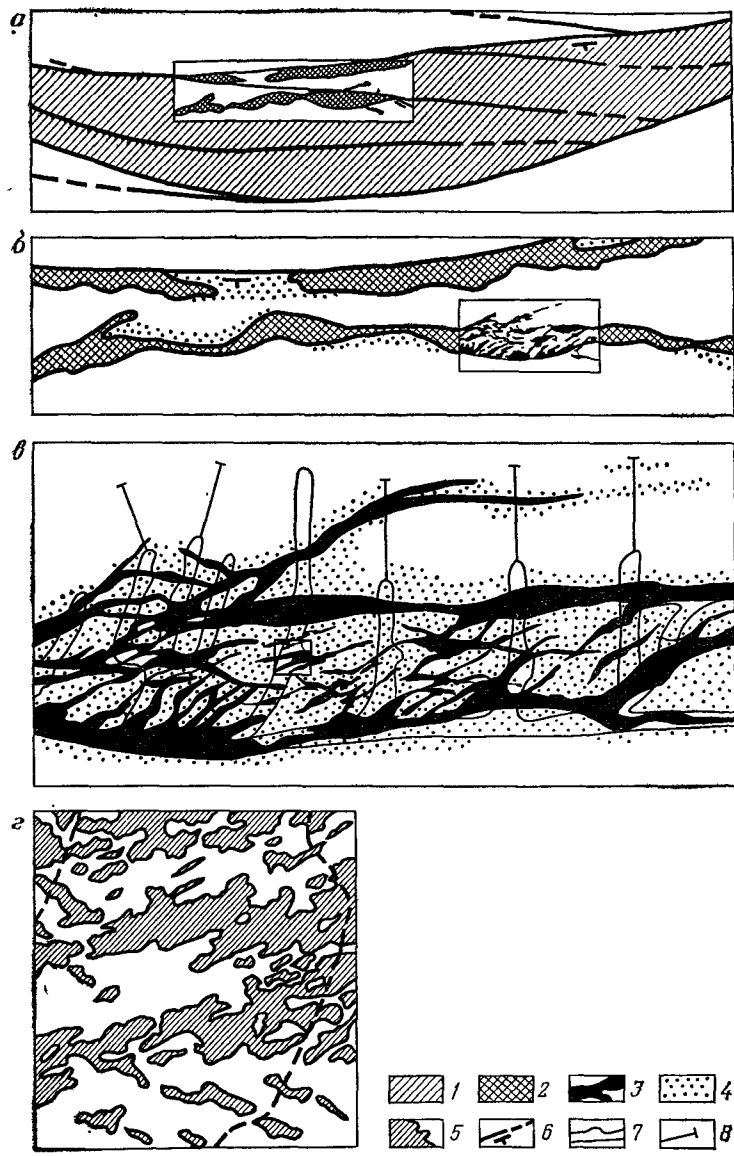


Рис. 7. Геолого-структурная модель флюоритового месторождения на уровнях строения минерализованной зоны (а), рудного тела (б), его морфологически обособленного участка (в) и локального обособления (г).
 1 — минерализованная зона; 2 — рудные тела; 3 — морфологически обособленные существенно кварц-флюоритовые участки рудного тела; 4 — морфологически обособленные участки оплавленных пород; 5 — локальные обособления (заштрихованные — существенно флюоритовые, незаштрихованные — существенно кварцевые); 6 — тектонические нарушения; 7 — горные выработки; 8 — скважины

Таблица 5

Схема изменения числа природных уровней строения в месторождениях полезных ископаемых различных генетических типов

Уровни строения	Элементы неоднородности	Месторождения				
		сингенетические		эпигенетические		
		массивные	полосчатые	сплошные	прерывистые	исключительно прерывистые
Минерализованной зоны (толщи)	Тела полезного ископаемого	Внутреннее строение месторождения на этих структурных уровнях считается условно однородным				Неоднородность проявляется в строении минерализованной зоны
Тела полезного ископаемого	Их морфологически обособленные участки	Неоднородность проявляется в строении тел полезных ископаемых				Неоднородность выражается текстурами обособленных участков тел полезных ископаемых
Морфологически обособленного участка	Локальные обособления					
Локального обособления	Минеральные агрегаты	Неоднородность выражается мезо-, макро- и мегатекстурами локальных обособлений				Неоднородность проявляется в строении тел полезных ископаемых
Минерального агрегата	Зерна, кристаллы и их сростки					

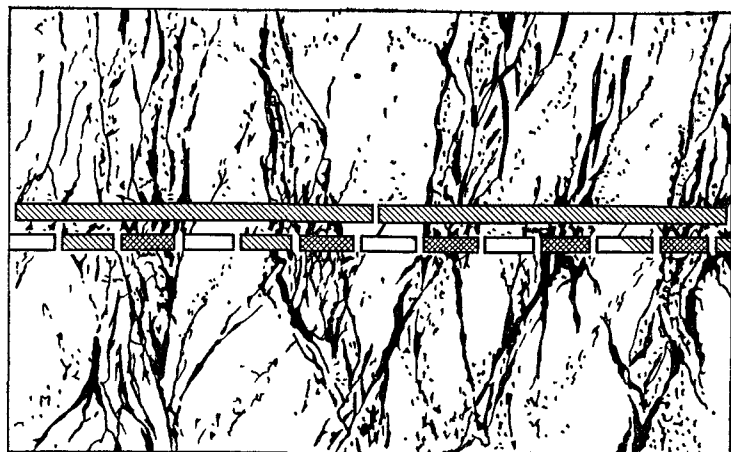


Рис. 8. Зависимость представлений о сплошности строения штокерка от размеров проб.
1 — пробы с высоким содержанием металла; 2 — пробы с умеренным содержанием металла; 3 — практически пустые пробы

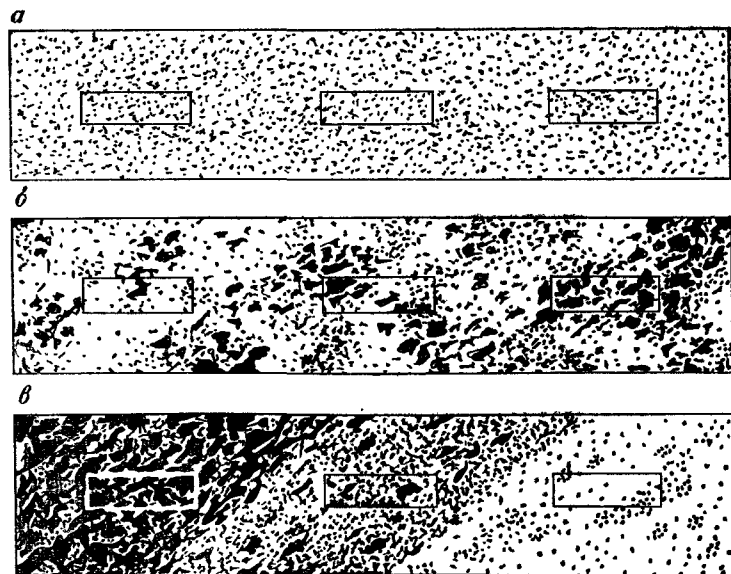


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая относительный характер неоднородности в зависимости от соотношения линейных размеров элементов неоднородности и проб.
а — условно однородное строение; б — статистическая неоднородность; в — геологическая неоднородность

новить масштабы исследования. Тогда представлению об однородности штокерка на уровне строения рудного тела не будет противоставляться представление об его неоднородности на уровне строения локального рудного обособления.

При учете влияния размеров проб на представления о строении полезного ископаемого проявляется относительный характер неоднородности [37]. Если линейные размеры элементов неоднородности во много раз меньше линейных размеров проб, а общее

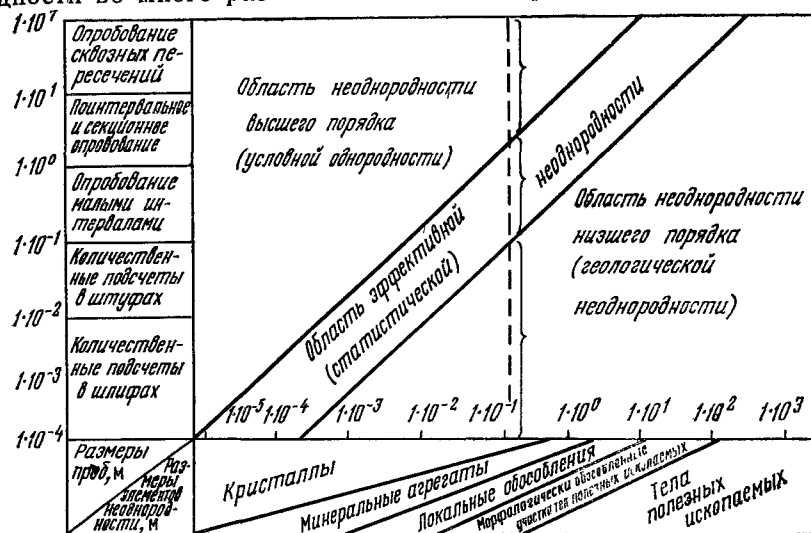


Рис. 10. Диаграмма структурной неоднородности природных образований полезных ископаемых

их число в каждой пробе очень велико, создается представление об однородности строения изучаемого объекта, так как совокупность очень большого количества элементов неоднородности в объеме каждой пробы обеспечивает ей свойства однородной среды (рис. 9,а).

Если линейные размеры элементов неоднородности только на один-два порядка меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико, неоднородность строения объекта может быть оценена статистически (рис. 9,б).

Если линейные размеры элементов неоднородности больше размеров проб, статистическая природа неоднородности вуализуется влиянием структурных особенностей всего массива. В этом случае кроме статистической неоднородности проявляется геологическая неоднородность низшего порядка, отражающая особенности строения более крупных структурных единиц (рис. 9,в).

Идея относительной неоднородности применительно к природным образованиям полезных ископаемых иллюстрируется диаграммой (рис. 10). По оси абсцисс этой диаграммы отложены поперечные сечения элементов неоднородности, а по оси ординат —

линейные размеры измерений или проб. Все поле диаграммы разделяется на три области. В верхней его части располагается поле условной однородности, а в нижней части — поле геологической неоднородности. Разделяющая их диагональная полоса соответствует полю статистической неоднородности. Например, если размеры элементов неоднородности штокверкового месторождения в виде отдельных рудных прожилков, вкрапленных зонков и разделяющих их пустых пород не будут превышать десяти сантиметров, то представления о его геологической неоднородности могут быть получены только по пробам размером менее 10 см. Пробы размером от 0,1 до 1—2 м обеспечат исходные данные для суждения о статистической неоднородности штокверка, а по пробам размером более 2 м строение штокверка будет оценено как однородное.

§ 3. Изменчивость свойств полезных ископаемых в недрах

Неоднородность природных скоплений полезных ископаемых проявляется в изменчивости их свойств, определяющих методику и оптимальные условия геологоразведочных работ. На основе количественных характеристик изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых решаются все методические вопросы разведки, опробования, оконтуривания и геолого-экономической оценки разведанных запасов.

Геологическая неоднородность низшего порядка по дискретной сети наблюдений проявляется как случайная и неслучайная пространственная изменчивость изучаемого свойства полезного ископаемого, а чаще всего — как сумма обеих составляющих изменчивости.

При случайной изменчивости изучаемого признака его значения, наблюдаемые в смежных пунктах, не зависят друг от друга и от расстояний между пунктами наблюдений. По всем направлениям они имеют характер случайных беспорядочных колебаний, причем положительные и отрицательные знаки приращенной величины параметра по любому направлению часто сменяются в каждом пункте и весьма редко сохраняют постоянство более чем в нескольких соседних пунктах. Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована методами вариационной статистики случайных величин.

Понятие о неслучайной изменчивости включает в себя характеристику закономерностей пространственного размещения изучаемого свойства в некотором объеме недр. Определяющим свойством неслучайной (координированной) изменчивости является наличие плавных колебаний значений признака и постоянство знака его приращения на протяжении полупериода каждого колебания. Для количественного описания неслучайной изменчивости может быть использован математический аппарат гармонического анализа — длины и амплитуды полупериодов колебаний или градиенты значений изучаемого признака. В общих чертах генеральная изменчивость свойства полезного ископаемого по задан-

ному направлению характеризуется длиной полупериода колебаний первого порядка, соизмеримого с размером минерализованной зоны или залежи. На фоне генеральных колебаний могут быть выделены осложняющие их колебания более высоких порядков. Полупериоды этих колебаний будут соизмеримы с размерами отдельных участков залежей или локальных скоплений полезного ископаемого.

При изучении пространственной изменчивости признака по дискретной сети наблюдений возможность выявления локальных колебаний его значений зависит от расстояний между смежными пунктами. Каждое колебание с длиной полупериода, существенно превышающей расстояние между точками наблюдений, может

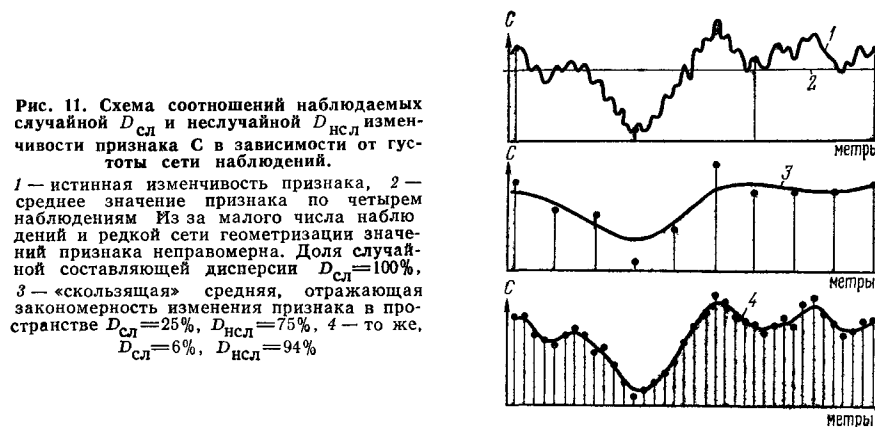


Рис. 11. Схема соотношений наблюдаемых случайной $D_{сл}$ и неслучайной $D_{нсл}$ изменчивости признака C в зависимости от густоты сети наблюдений.

1 — истинная изменчивость признака, 2 — среднее значение признака по четырем наблюдениям. Из за малого числа наблюдений и редкой сети геометризации значений признака неправомерна. Доля случайной составляющей дисперсии $D_{сл}=100\%$, 3 — «скользящая» средняя, отражающая закономерность изменения признака в пространстве $D_{сл}=25\%$, $D_{нсл}=75\%$, 4 — то же, $D_{сл}=6\%$, $D_{нсл}=94\%$

быть выявлено, так как оно будет охарактеризовано совокупностью эмпирических наблюдений хотя бы в нескольких соседних точках. Если же полупериоды колебаний будут существенно меньше этих расстояний, то значения признака даже в смежных пунктах наблюдений будут относиться к различным полупериодам и проявляться независимо друг от друга. Такие колебания не могут быть геометризованы и будут учтены как случайные отклонения. Следовательно, наблюдаемая в геологоразведочной практике случайная изменчивость свойств возникает как результат неполноты наших знаний на данном этапе изучения (рис. 11).

При разведке месторождений полезных ископаемых геолога интересует в первую очередь пространственная изменчивость их важнейших свойств, которая может быть выражена только ее неслучайной составляющей. Неслучайная изменчивость позволяет оценить характер анизотропии строения полезного ископаемого и выдержанность его свойств по различным направлениям. Ее характеристика служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Случайная изменчивость оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок.

Анизотропия природных скоплений полезных ископаемых проявляется в том, что неслучайная изменчивость изучаемого свойства оказывается различной по разным направлениям, например, максимальная изменчивость по мощности залежей, а минимальная — по их вытянутости. Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов — зерен, минералов, минеральных агрегатов или локальных скоплений полезных ископаемых, которые часто располагаются по слоистости, сланцеватости, флюидалности, трещиноватости, вдоль зон брекчирования, катаклаза вмещающих пород или следуют направлениям других рудоконтролирующих элементов.

Понятие анизотропии имеет статистический смысл, так как оценивает неслучайную изменчивость строения полезного ископаемого в среднем по заданному направлению.

Мерой анизотропии I служит отношение среднего числа элементов неоднородности n , пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к длинам этих линий l в пределах изучаемого объема полезного ископаемого.

$$I = \frac{n}{l}. \quad (2.1)$$

В общем случае выделяются три взаимно ортогональных оси анизотропии, которые часто совпадают с направлениями мощности, падения и простирания природных скоплений полезных ископаемых. По этим направлениям наблюдаются наиболее значительные различия количественных характеристик неслучайной изменчивости изучаемых свойств.

Наиболее широко распространены тела полезных ископаемых, имеющие три взаимно ортогональных направления анизотропии: жилы, россыпи, многие пластовые и пластообразные залежи. Направление максимальной изменчивости свойств совпадает в них с направлением мощности, а направление минимальной изменчивости с вытянутостью тела по его длинной оси. Промежуточное по значению направление изменчивости совпадает с шириной залежи.

Реже встречаются трубообразные или изометрические линзообразные тела полезных ископаемых, имеющие два направления анизотропии. В них выделяется круговое сечение, перпендикулярное либо длинной, либо короткой оси залежи, в плоскости которого располагается одно из направлений анизотропии свойств. В плоскости кругового сечения изучаемые свойства практически близки к изотропным. Второе направление анизотропии совпадает с направлением оси. В сплюснутых дискообразных телах оно является направлением максимальной, а в трубообразных телах — направлением минимальной изменчивости свойств.

Известны также и практически изотропные залежи, примером которых служат изометрические штокверки цветных и редких металлов.

Для большинства месторождений характерно совпадение типов анизотропии на ранних структурных уровнях. Примерами несовпадения типа и характера анизотропии на уровне строения тела и на уровне строения локального обособления полезного ископаемого могут служить некоторые трещинно-жилые зоны с жилами или прожилками «лестничного» типа

Анизотропия любого порядка может быть выявлена только в том случае, если совокупность структурных элементов, создающих анизотропию, укладывается в размеры пробы. Это обстоятельство осложняет изучение анизотропии по результатам геологоразведочных работ, поскольку сплошное изучение и опробование минерализованных скоплений проводится не по всем направлениям, а только по направлению их мощности.

Характеристика анизотропии важнейших свойств полезных ископаемых на низких уровнях их строения используется для ориентировки сети наблюдений, а на высоких структурных уровнях — для обоснования оптимальных параметров проб, решения вопросов технологии отработки и переработки минерального сырья.

Таким образом, представления об анизотропии свойств и анизотропии строения минеральных образований зависят не только от их природных свойств, но и от расположения пунктов наблюдений и размеров отбираемых проб. Чем выше природная неоднородность строения полезных ископаемых, тем больше вуалируются закономерности пространственного размещения изучаемых признаков. С увеличением расстояний между пунктами наблюдений эти закономерности не улавливаются, а с уменьшением расстояний — проявляются все отчетливее. Аналогичная тенденция наблюдается и при увеличении размеров или объемов проб.

Зависимость характеристик изменчивости изучаемых признаков от условий проведения экспериментальных исследований свидетельствует о том, что они не могут служить объективными характеристиками природной изменчивости оруденения. Природная изменчивость месторождений полезных ископаемых представляет собою явление столь сложного и многопланового характера, что задача полного ее количественного описания практически невыполнима. При решении геологоразведочных задач из всех возможных проявлений природной изменчивости изучаются только те, которые оказывают существенное влияние на технические приемы разведки и отработки месторождений и лишь на тех уровнях строения, которые сопоставимы с масштабами исследования. Поэтому принципиально важно отличать понятие природной изменчивости свойств полезных ископаемых от понятия их наблюдаемой изменчивости по результатам геологоразведочных работ [49].

Наблюдаемая изменчивость отражает детальность наших представлений об изменчивости реально существующего объекта в зависимости от его природной сложности и совокупности экспери-

ментальных наблюдений, положенных в основу ее характеристики. Количественная характеристика наблюдаемой изменчивости любого свойства полезного ископаемого лишена практического смысла, без указания тех конкретных условий геологоразведочных работ, по которым она получена. Это обстоятельство должно учитываться при решении важнейших методических вопросов разведки. В частности, при сравнительной характеристике свойств нескольких месторождений необходимо учитывать влияние размеров проб и густоты сети наблюдений на количественные характеристики их наблюдаемой изменчивости.

Глава III

Методология изучения недр

Минерализованные участки недр как объекты исследования обладают рядом специфических особенностей, определяющих методологию их изучения:

— они практически недоступны для визуального наблюдения, что приводит к необходимости изучения недр с помощью искусственных обнажений, в пределах которых отбираются образцы или пробы для различных испытаний и анализов;

— размеры минерализованных участков недр несоизмеримо больше размеров искусственных обнажений и отдельных проб,

— природные скопления полезных ископаемых часто обладают сложным анизотропным строением с широким диапазоном размеров элементов неоднородности на различных структурных уровнях.

Возможности непосредственного изучения обнаженных поверхностей недр ограничиваются масштабами наблюдений и набором изучаемых свойств. Далеко не все свойства полезных ископаемых доступны визуальному наблюдению. Содержания полезных и вредных компонентов, пористость, влажность, многие технологические и технические свойства могут быть установлены только путем выборочного опробования с последующим испытанием (анализом) отобранных проб. Такие пробы всегда ограничиваются небольшими объемами полезного ископаемого, в результате их испытаний или анализов являются единственными источниками информации для суждения о свойствах всего минерализованного объема недр. Представления о размерах и свойствах элементов неоднородности низких порядков создаются только по совокупности смежных выборочных наблюдений и зависят от густоты и расположения сети наблюдений. Основные вопросы методологии изучения недр включают в себя: оценку разведочных возможностей скважин, горных выработок и геофизических методов, теоретические основы опробования, приемы создания упорядоченных систем искусственных обнажений, принципы систематизации разведочных данных, вопросы моделирования объектов разведки и свойств полезных ископаемых в недрах.

§ 1. Технические средства разведки и их разведочные возможности

При проведении геологоразведочных работ широко используют современные технические средства. По своему назначению они разделяются на основные и вспомогательные. С помощью основных технических средств создаются разведочные пересечения и разведочные разрезы. К ним относятся: горноразведочные выработки, разведочные скважины и геофизические методы, обеспечивающие возможность опробования разведочных выработок и исследования недр в промежутках между ними. Вспомогательные технические средства используются для изучения и документации разведочных скважин и горных выработок, анализа и обобщения результатов геологоразведочных работ. Это аппаратура и технические средства, с помощью которых проводятся геологические, геофизические, геохимические, гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения в горных выработках и скважинах, изучается строение, минеральный и химический состав полезных ископаемых, производится отбор, обработка, анализы и испытания проб, камеральное изучение и обработка полученных экспериментальных данных.

Горноразведочные выработки обеспечивают наиболее полные и надежные сведения о составе и строении полезных ископаемых. Они доступны для непосредственного наблюдения, замеров и зарисовок. Искусственные обнажения недр в стенках, кровле и забоях горных выработок могут быть сфотографированы и многократно опробованы пробами любых размеров и назначения. По ним можно провести полный комплекс исследований — подземное геологическое картирование, геофизические и геохимические наблюдения, детальное изучение минерального состава и текстур полезного ископаемого, изучить инженерно-геологические и гидрогеологические условия будущей эксплуатации месторождения. Это особенно важно при разведке месторождений, сложенных мелкими прерывистыми телами полезных ископаемых, которые контролируются невыдержанными, труднокартируемыми элементами геологического строения — трещинами высоких порядков, участками их пересечения и сопряжения, флюидалностью или контактами фациально неустойчивых вмещающих пород и др. Выявление подобных геологических элементов возможно только путем их непосредственного прослеживания в обнаженных поверхностях недр, если размеры обнажений сопоставимы с размерами изучаемых рудовмещающих структур.

При проведении горных выработок их можно поворачивать в любую сторону вслед за изгибами залежей полезных ископаемых или рудовмещающих структур. Из одной горной выработки можно пройти систему других разведочных выработок или скважин, обеспечивая их преимущественное расположение только в пределах минерализованных участков недр. В некоторых случаях гор-

норазведочные выработки могут быть впоследствии полностью или частично использованы при эксплуатации месторождения.

К недостаткам горных выработок как основного разведочного средства относятся: их высокая себестоимость, длительные сроки проведения и необходимость организации солидной производственно-энергетической базы.

Для разведочных целей применяются поверхностные и подземные горные выработки.

Поверхностные горные выработки. Проведение этих выработок не требует больших затрат времени, сил и материальных средств. Они широко применяются на ранних стадиях разведочных работ для изучения геологического строения месторождений, выходов полезных ископаемых на дневную поверхность и закономерностей их изменения в приповерхностной зоне. Наиболее распространенными поверхностными выработками являются каналы и шурфы.

Разведочные каналы разделяются на магистральные и прослеживающие. Магистральные каналы проходятся для составления геологических разрезов, ориентированных вкрест простирания рудоконтролирующих структур. Одновременно магистральные каналы являются поисковыми выработками, так как ими часто выявляются новые залежи полезных ископаемых. Прослеживающие каналы проходятся для прослеживания залежей полезных ископаемых и рудоконтролирующих элементов геологического строения по простиранию.

Разведочные шурфы разделяются на мелкие — глубиной до 10 м и глубокие — до 40 м. Мелкие разведочные шурфы проходятся для прослеживания и оконтуривания залежей полезных ископаемых или рудоконтролирующих элементов геологического строения по простиранию при мощности чехла рыхлых отложений более 3—5 м, а также для вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых. Глубокие шурфы проходятся для изучения приповерхностных участков залежей полезных ископаемых. Часто из глубоких шурфов проводятся рассечки для пересечения залежей полезных ископаемых на полную мощность. При разведке многих россыпных, остаточных, инфильтрационных и других приповерхностных месторождений шурфы служат основным техническим средством создания разведочных пересечений и разрезов.

Если объемы приповерхностных работ сравнительно невелики — проходка мелких горных выработок до коренных пород обычно осуществляется вручную. При больших объемах поверхностных горных работ необходима их комплексная механизация с помощью канавокопателей, роторных и траншейных экскаваторов, механических плугов, бульдозеров и методов направленных массовых взрывов. Для механизированной проходки шурфов используются специальные шурфопроходческие агрегаты, бурильные машины большого диаметра или установки медленно-вращательного и ударно-захватного бурения типа УБСР-25. Развитие научно-технического

прогресса предусматривает создание комплексных горно-проходческих агрегатов для проходки канав и шурфов глубиной до 30 м.

Подземные горные выработки. Выработки разделяются по целевому назначению на вспомогательные (подходные или вскрывающие) и основные (собственно разведочные).

К вспомогательным относятся стволы шахт, подходные штольни и квершлагги, к основным — орты и гезенки. Штреки и восстающие в зависимости от мощностей залежей полезных ископаемых и горнотехнических свойств вмещающих пород могут играть роль как основных, так и вспомогательных разведочных выработок.

Стволы разведочных шахт используются как вертикальные вскрывающие выработки при разведках месторождений, залегающих в условиях слаборасчлененного рельефа. Глубины стволов современных разведочных шахт изменяются от десятков до нескольких сотен метров, а их поперечные сечения от 6 до 25 м² в проходке.

Разведочные штольни служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведках месторождений, залегающих в условиях пересеченного и горного рельефа.

По сравнению с шахтами разведочные штольни имеют ряд существенных преимуществ: проходка 1 пог. м штольни на порядок дешевле 1 пог. м шахты, а темпы проходки штолен на порядок выше. Организация водоотлива из штолен в процессе проходки и в течение последующего периода разведочных работ несравненно проще и дешевле. Поэтому вскрытие разведываемых месторождений штольнями предпочтительнее даже в тех случаях, когда длина подходов по ним в несколько раз превышает проектную длину ствола вскрываемой шахты. Поперечные сечения вскрывающих штолен в проходке колеблются от 6 до 9 м².

Разведочным квершлагом называется горизонтальная горная выработка, пересекающая залежи полезных ископаемых и рудонаосные структуры вкрест их простирания. Они проходятся из стволов шахт (рудничных дворов), штолен или штреков для вскрытия залежей полезных ископаемых, поисков новых залежей или для соединения нескольких параллельных штреков. Квершлагги имеют поисковое назначение или являются вспомогательными разведочными выработками. Только на участках пересечения залежей они выполняют роль разведочного пересечения.

Разведочные штреки — это горизонтальные выработки, пройденные по простиранию залежей полезных ископаемых или по вмещающим породам висячих или лежащих боках залежей. В первом случае они называются «рудными», а во втором «полевыми».

Полевые штреки имеют значение подходных выработок, так как из них проходятся разведочные орты или бурятся подземные разведочные скважины. Рудные штреки играют роль основных, собственно разведочных выработок, если мощности залежей меньше ширины штреков или хотя бы соизмеримы с ними. В этих случаях залежи опробуются на полную мощность, а ре-

зультаты опробования могут быть использованы при подсчете запасов для вычисления средних геологоразведочных параметров. Если же мощность залежей заведомо больше ширины рудных штреков, то они приобретают значение подходов выработок, а основными разведочными выработками становятся пройденные из них орты и скважины. Данные геологической документации и результаты опробования таких штреков могут использоваться только для оконтуривания залежей на участках, расположенных между соседними ортами, но не для вычисления средних геологоразведочных параметров, так как пробы не охватывают полных мощностей залежей.

Разведочные орты — это горизонтальные выработки, пройденные вкрест простирания залежей полезных ископаемых и вскрывающие их на полную мощность. Они применяются для разведки мощных крутопадающих и наклонных тел полезных ископаемых и всегда имеют значение основных разведочных выработок.

Разведочные гезенки проходятся из квершлагов вертикально вверх или вниз, пересекая пологозалегающие тела полезных ископаемых в направлении, близком к направлению их мощности. Гезенки являются вертикальными аналогами ортов при разведке пологозалегающих тел полезных ископаемых системами вертикальных разрезов.

Разведочные восстающие проходятся из штреков по восстанию залежей полезных ископаемых. Они имеют значение основных разведочных выработок только в тех случаях, когда мощные тела полезных ископаемых соизмеримы с шириной восстающих и вписываются в их поперечные сечения. Если мощности тел полезных ископаемых заведомо больше ширины восстающих, восстающие используются как подходы выработок для проходки из них дополнительных ортов или в горнотехнических целях (для вентиляции, спуска оборудования, материалов и т. п.). Иногда данные геологической документации и опробования таких восстающих способствуют уточнению контуров промышленной минерализации или степени ее прерывистости между разведочными горизонтами.

Поперечные сечения квершлагов и штреков составляют в проходке от 3,6 до 5,6 м², ортов — от 2,7 до 3,6 м², восстающих и гезенков — около 4 м².

При проходке разведочных выработок используются средства комплексной механизации буровзрывных, погрузочных, откаточных, подъемных, крепежных и других видов горных работ. Развитие научно-технического прогресса на горных работах предусматривает создание и внедрение малогабаритного горно-проходческого, погрузочного и откаточного оборудования для механизации трудоемких процессов при проходке разведочных выработок сечением менее 5,6 м².

Скважины разведочного бурения обеспечивают значительно меньшую полноту сведений о составе и особенно о строении полезных ископаемых по сравнению с горными разведочными выра-

ботками. Скважины вскрывают относительно небольшие поверхности недр и недоступны для непосредственного наблюдения. О строении и составе полезного ископаемого судят по результатам изучения вынутаго из скважины каменного материала и по данным скважинных геофизических наблюдений. Стенки скважины могут быть сфотографированы, однако вследствие небольших размеров обнаженных поверхностей возможности фотографического метода весьма ограничены. Многократное и даже повторное контрольное опробование при буровой разведке практически исключается, а возможности отбора проб различного назначения невелики вследствие ограниченности получаемого каменного материала.

Выявление труднокартируемых невыдержанных элементов геологического строения по данным бурения невозможно, так как они не поддаются непосредственному наблюдению и прослеживанию. Скважины колонкового бурения обеспечивают получение керна, но проявляют склонность к искривлению, а при других видах бурения первоначальная структура пород в скважинах разрушается.

Несмотря на перечисленные недостатки буровых скважин, они являются самым распространенным техническим средством разведочных работ, так как буровая разведка отличается низкой себестоимостью, высокой скоростью бурения, мобильностью и благоприятными организационно-техническими возможностями. Организация и разворот широкого фронта буровых работ возможны без создания солидной производственно-энергетической базы. С помощью буровых работ значительно быстрее, чем при горной разведке достигаются большие глубины недр.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные и вибрационные скважины, более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные скважины, глубокие колонковые и бескаменные скважины вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких метров и нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, поисков минерализованных участков и зон, прослеживания, оконтуривания и опробования приповерхностных участков месторождений полезных ископаемых. Они применяются в качестве основного технического средства при разведке большинства россыпных, многих инфильтрационных и остаточных месторождений. Для бурения скважин используются буровые установки УПБ-25 и УБР-2 (до 25 м), БУУ-2 (до 50 м) и др. В легкодоступных районах применяются шнековые и другие буровые агрегаты, смонтированные на гусеничном транспорте или на автомобилях.

Скважины ударно-вращательного и ударно-канатного бурения глубиной от нескольких десятков метров

до 200—300 м применяются в качестве главных разведочных выработок при разведке штокерковых месторождений, крупных штокообразных и мощных пологих пластообразных залежей. Сравнительно неглубокие скважины бурятся легкими станками типа УБР-1, УБР-2 или БУУ-2, а более глубокие — тяжелыми станками БУ-20-2 и УКС-22М.

По сравнению с колонковым бурением эти скважины обладают более высокими скоростями бурения, особенно по крепким трещиноватым породам до глубин 100—150 м. Возможность бурения скважин большими диаметрами (до 600 мм) и отсутствие избирательного выкрашивания хрупких минералов обеспечивают высокую представительность их опробования. Однако ударно-вращательное и ударно-канатное бурение возможно только в вертикальном направлении и сплошным забоем.

Пневмоударное и гидроударное бурение сплошным и кольцевым забоями возможно в благоприятных геотехнических условиях до глубин 150—200 м. С этой целью используются пневмоударники типов РП-130, РП-Ш и РП-94 и гидроударные машины Г-5 А и ГМД-2. К недостаткам гидро- и пневмоударного бурения относятся низкие качество и выход керна, особенно при бурении в породах с изменчивыми физико-механическими свойствами.

Скважины механического вращательного бурения являются основным видом поверхностных буровых работ. Они используются при разведке твердых полезных ископаемых как основное поисковое и разведочное техническое средство, а также для картировочного, структурного и гидрогеологического бурения.

Колонковое бурение в интервалах глубин от нескольких десятков метров до 150—200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (СБУД-150-ЗИВ), а более глубокие скважины бурятся агрегатами ТСБУ-300-ЗИВ на гусеничном ходу и станками ЗИФ-300-М, ЗИФ-650-М, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200-А, ВИТР-2000. В качестве наконечников в зависимости от физико-механических свойств пород используются твердосплавные коронки, однослойные, многослойные и импрегнированные алмазные коронки, а при бескерновом бурении — шарошечные долота.

Преимущество вращательного бурения по сравнению с ударным заключается в возможности бурить не только вертикальные, но наклонные и горизонтальные скважины, кусты скважин из одного ствола в породах любой крепости и в широком интервале глубин. Направленное и многозабойное бурение эффективно используется при разведке коренных месторождений многих полезных ископаемых. Основные недостатки вращательных скважин — тенденция к искривлению, а при колонковом бурении — возможность систематических погрешностей опробования вследствие избирательного истирания керна.

Скважины подземного бурения могут иметь самостоятельное и вспомогательное разведочное значение.

Самостоятельное разведочное значение имеют глубокие колонковые скважины из подземных камер для разведки глубоких горизонтов месторождений, горизонтальные, наклонные и вертикальные скважины на горизонтах горных работ или между ними, которые бурятся вместо ортов и гезенков. Для бурения глубоких колонковых скважин используются буровые станки, предназначенные для поверхностных буровых работ. Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальных скважин глубиной до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое бурение — станками НКР-100.

Вспомогательное разведочное значение имеют подземные скважины, предназначенные для детализации отдельных разведочных данных — прослеживания локальных рудоконтролирующих структур, мелких апофиз, поисков смещенных участков залежей полезных ископаемых и т. п. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов, установленных на специальных колонках и снабженных комплектом свертываемых штанг. Перфораторные скважины относятся к числу бескерновых и могут достигать глубин 15—20 м.

Дальнейшее развитие техники и технологии разведочного бурения предусматривает широкую механизацию и автоматизацию буровых работ, создание буровых автоматов и новых, технически совершенных буровых установок, обеспечивающих бурение скважин на форсированных режимах в интервалах глубин от 25 до 3000 м. При этом предусматривается дальнейшее увеличение объемов алмазного и твердосплавного бурения, широкое внедрение наконечников малого диаметра, буровых труб повышенной прочности, технических средств, повышающих сохранность и процент выхода керна, в частности — двойных и тройных колонковых труб со съемными керноприемниками, обеспечивающих получение высококачественного керна без подъема буровой колонны из скважины. Одновременно разрабатываются и принципиально новые технические средства бурения скважин — забойные машины и термические буровые установки.

Геофизические методы могут рассматриваться как основные технические средства разведки, если они применяются для исследования недр в промежутках между разведочными пересечениями и разрезами или используются для их опробования. Геофизические методы, которые позволяют исследовать участки недр, расположенные между ними, и создавать новые, дополнительные разведочные пересечения и разрезы А. Г. Тархов [42] предложил называть методами подземной геофизики. В их число входят методы:

- электроразведки переменным и постоянным током;
- гравиразведки;
- терморазведки;
- сейсморазведки;
- магниторазведки;
- пьезоэлектрической разведки;

— регистрации космического излучения.

Электрические методы используются в качестве основных технических средств при разведке залежей металлических и неметаллических полезных ископаемых, обладающих высокой электропроводностью. Эффективности применения электрических методов способствует контрастность электромагнитных свойств руд и вмещающих пород. Они широко применяются при разведке графитовых и угольных (антрацитовых) месторождений, сплошных и вкрапленных медноколчеданных, медно-никелевых, полиметаллических и железных руд. Наиболее широко распространены методы радиоволнового просвечивания и профилирования (РВП) с помощью электромагнитных волн частотой 0,1—10 мГц. Дальность действия метода РВП зависит от эффективной электропроводности и морфологических особенностей рудных тел, степени поглощения радиоволн вмещающими породами и уровня помех. Диапазон изменений действия метода РВП может изменяться от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

При разведке месторождений, ассоциирующих с зонами вкрапленной сульфидной минерализации (например, золото- или урановорудные месторождения в зонах березитизированных пород), для детализации представлений о морфологии и строении продуктивных зон успешно используется метод вызванной поляризации (ВП) в скважинном и в подземном вариантах. В комплексе с упомянутыми методами используются низкочастотные амплитудно-фазовые измерения (индукционный метод), методы радиокип и радиолокации, сопротивлений, заряда и естественного поля.

Подземные гравиметрические методы применяются при разведке самых различных полезных ископаемых, если их плотность заметно отличается от плотности вмещающих пород. Гравиразведка позволяет выявлять и устанавливать условия залегания угольных пластов, минеральных солей, пегматитовых, кварцевых и баритовых жил, железорудных, колчеданных, полиметаллических залежей и других полезных ископаемых.

Методы подземной терморазведки могут эффективно использоваться для уточнения форм и размеров рудных тел, если в них достаточно отчетливо проявляются экзо- и эндотермические процессы или они заметно различаются по теплопроводности от вмещающих пород. Этим условиям отвечают залежи сплошных сульфидных руд, а второму условию — залежи сплошных железных руд.

Термические исследования производятся преимущественно в скважинах с помощью электрических терморезисторов или полупроводниковых термосопротивлений (термисторов). В комплексе с другими методами подземной геофизики они обеспечивают получение дополнительной информации о характере контактов и морфологии рудовмещающих структур.

Опыт практического использования методов подземной сейсморазведки пока еще невелик. Положительный опыт сейсмического прослеживания описан для полиметаллических руд Ахтальского

месторождения, а сейсмические измерения методом отраженных волн — для сидеритовых жил Зигерланда.

Методы подземной магниторазведки получили интенсивное развитие только в последние 10—15 лет. В отличие от полевой магниторазведки при подземных наблюдениях определяются внешнее и внутреннее поля возмущающего объекта, а также скачок поля на границе раздела. Ими осуществляются поиски намагниченных тел в пространстве между разведочными разрезами, определяются их форма, размеры и элементы залегания.

Пьезоэлектрическим методом (ПЭЭФ) выявляются электрические поля, которые создаются в геологических объектах с повышенными пьезоэлектрическими свойствами под влиянием искусственно возбуждаемых упругих волн. К таким объектам относятся в первую очередь кварцевые и пегматитовые тела, обладающие высокими значениями пьезоэлектрического модуля. Метод ПЭЭФ занимает промежуточное место между сейсмо- и электроразведкой. Упругие колебания возбуждаются сериями взрывов в скважинах или шпурах, фиксируются сейсмоприемниками, а для регистрации электрических колебаний применяются светолучевые осциллографы. В зависимости от взаимного расположения пунктов взрыва и приема различают: пьезоэлектрическое профилирование, пьезоэлектрическое просвечивание и круговые пьезоэлектрические наблюдения. Дальность действия метода ПЭЭФ в подземном варианте достигает 100 м. Этот метод успешно применяется при разведке золоторудных, полиметаллических, пьезокварцевых и других месторождений полезных ископаемых, связанных с кварцевыми и пегматитовыми жилами.

Метод подземной регистрации компоненты космического излучения используется для выявления аномальных по плотности геологических объектов. Область применения метода подземной регистрации космического излучения примерно та же, что и подземной гравиразведки. Главное его преимущество заключается в том, что ограниченные размеры исследуемых объектов обеспечивают более достоверную информацию о плотности отдельных геологических тел и комплексов пород.

С помощью методов подземной геофизики не только успешно выявляются и оконтуриваются залежи полезных ископаемых, но и решаются самые различные горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, формы карстовых полостей, направления, скорости движения и коэффициенты фильтрации подземных вод, горное давление и многие другие задачи.

Методы скважинной и рудничной геофизики широко используются для опробования пройденных горных разведочных выработок и скважин. Возможно и перспективы применения ядерно-физических методов для опробования рассматриваются во втором разделе книги (глава VI, § 4).

§ 2. Теоретические основы опробования

В качестве теоретических основ опробования рассматриваются факторы, определяющие влияние природных свойств полезных ископаемых и условий пробоотбора — объемов, форм и размеров проб на характеристики изменчивости содержаний полезных компонентов, достоверность и представительность проб.

Влияние природных свойств полезных ископаемых на количественные характеристики изменчивости содержаний. Изменчивость содержаний полезных компонентов зависит от генетического типа месторождения, геологических и физико-химических условий рудогенеза и

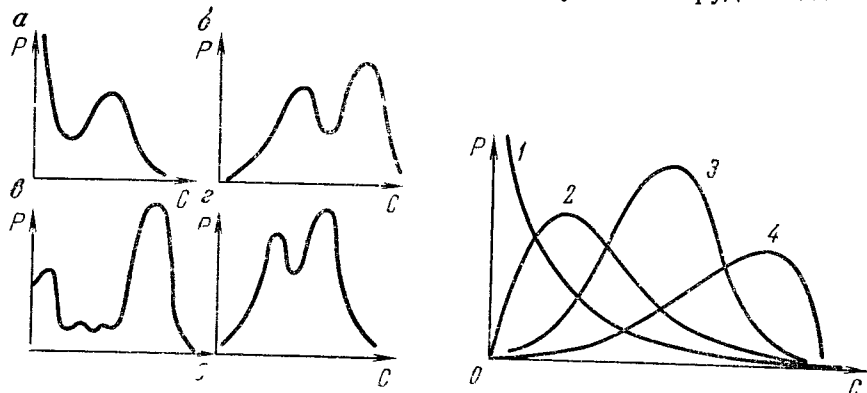


Рис. 12 Примеры сложных многовершинных распределений содержаний полезных компонентов (по В. Ф. Мягкову).

а — Иртышское полиметаллическое месторождение, б — Шахтаминское молибденовое месторождение, в — Кутимское железорудное месторождение, г — Николаевское железорудное месторождение

Рис. 13 Типы кривых распределения частот содержаний полезных компонентов в месторождениях различных видов полезных ископаемых (по В. Ф. Мягкову и В. В. Богацкому)
1 — гиперболическая, 2 — логнормальная, 3 — нормальная, 4 — зеркальный аналог логнормальной кривой

других факторов, определяющих особенности строения месторождений полезных ископаемых. Чем больше прерывистость и различия в размерах отдельных скоплений полезных минералов, выше неравномерность их пространственного размещения и ниже общая концентрация полезного компонента в опробуемом объеме, тем более высокой степенью изменчивости содержаний обладает ее количественная характеристика, полученная по результатам анализов проб. Количественной характеристикой изменчивости содержаний могут служить функции плотности распределений их частот. Для месторождений различной геологической природы и различных видов минерального сырья они исключительно разнообразны.

Кривые частот распределения содержаний в однородном геологическом поле одновершинны. Наличие двух (и более) максимумов экспериментальной кривой (при правильном выборе количества и интервалов классов) свидетельствует о неоднородности

исходного статистического коллектива, например о наличии минеральных образований нескольких генераций, этапов или стадий, о различиях текстурного характера и др. (рис. 12).

Данные по статистической обработке результатов опробования различных месторождений полезных ископаемых обобщены В. В. Богацким и В. Ф. Мягковым. Ими выделено четыре типа эмпирических кривых, отражающих характер распределения содержаний в месторождениях различных генетических групп (рис. 13). Эти обобщения справедливы только в самых общих чертах, так как в них не учитываются особенности количественных характеристик, связанные с различиями геометрии проб и геометрии разведочной сети.

Проявлению левой асимметрии способствуют: прерывистость оруденения, резкие различия в размерах отдельных скоплений полезных минералов и неравномерность их пространственного размещения при низкой степени концентрации полезного компонента в опробуемом объеме. Симметричные и правасимметричные кривые распределения содержаний проявляются в залежах со сплошным и выдержанным оруденением и часто с высокой концентрацией полезного ископаемого в опробуемом объеме. Правая асимметрия кривых становится более отчетливой с увеличением концентрации (среднего содержания) полезного компонента, а также с увеличением степени устойчивости содержаний по различным направлениям.

Эмпирические кривые распределения содержаний по данным опробования дробленых и перемешанных минеральных масс, как правило, симметричны. При достаточно мелком дроблении и хорошем перемешивании минеральных масс они идеально описываются нормальным законом распределения. В отбитой, но плохо перемешанной рудной массе распределения содержаний полезных компонентов могут быть заметно асимметричными.

Влияние объемов проб на характеристики изменчивости содержаний. Содержание полезного минерала неразрывно связано с геометрией опробованного пространства. Говорить о содержании бессмысленно, не указывая, к какому объему оно относится. Содержания, установленные по данным опробования, относятся к объемам отобранных проб, но не к зонам их влияния.

Проба элементарно малого объема может включать только полезный минерал или только пустую породу. Значения содержаний в таких пробах будут либо наивысшими, либо нулевыми, а изменчивость содержаний по ряду проб — максимальной из возможных. Последовательное увеличение объемов проб приведет к выравниванию содержаний, следовательно, к снижению их изменчивости в анализируемом ряду проб, причем асимметрия эмпирических гистограмм и дисперсии оценок средних содержаний будут закономерно уменьшаться.

Влияние размеров проб на количественные характеристики изменчивости содержаний принципиально различно при опробова-

нии рыхлых перемешанных минеральных масс и полезных ископаемых в естественном залегании.

В добытых и обработанных минеральных массах первоначальная структура полезного ископаемого нарушена. Поэтому опробуемые объемы могут рассматриваться как совокупности некоторых элементарных объемов, содержания в которых взаимонезависимы и распределены статистически нормально. В этих условиях увеличение объемов проб в n раз приводит к соответствующему уменьшению дисперсий содержаний по пробам также в n раз. Если суммарные объемы отобранных проб одинаковы, то практически безразлично будет ли отобрано много проб малых объемов или ограниченное число проб больших объемов, так как дисперсия пробы объемом $V=nu$ равна суммарной дисперсии n проб объемом v . Погрешность оценки среднего содержания p по n пробам оценивается статистическим способом по формуле

$$p = \frac{ts}{\sqrt{n}}, \quad (3.1)$$

где s — стандарт содержаний по пробам данного объема;
 t — коэффициент вероятности.

Средние содержания по пробам могут рассматриваться как оценки истинных средних содержаний полезного компонента в опробованном объеме. При опробовании рыхлых перемешанных минеральных масс формы, размеры и ориентировка проб практически не оказывают влияния на характеристики изменчивости содержаний полезных компонентов.

При опробовании полезных ископаемых в естественном залегании оценка влияния объемов проб на характеристики изменчивости содержаний осложняется проявлением пространственных взаимосвязей между их значениями по смежным пробам, а также анизотропией строения большинства из них. В чистом виде оно проявляется только при опробовании особо ценных видов минерального сырья, когда содержания полезных минералов составляют весьма малые объемные доли полезного ископаемого (алмазы, золото и др.) и при изучении залежей изотропного строения. В других случаях характеристики наблюдаемой изменчивости содержаний полезных компонентов в недрах в большей степени зависят от форм, размеров и ориентировок проб, чем непосредственно от их объемов. В отличие от опробования рыхлых перемешанных масс средние содержания, вычисленные по совокупности отобранных проб, как правило, не совпадают с истинными содержаниями полезных компонентов в опробованных объемах.

Доминирующее влияние объемов проб на характеристики изменчивости содержаний особо ценных полезных компонентов объясняется тем, что их доли в объемах рудной массы исключительно малы. Так, например, в кимберлитах на долю алмазов приходится примерно одна десятимиллионная часть их объема. Для того чтобы обеспечить попадание в пробу в среднем одного кристалла алмаза, объем пробы должен быть по крайней мере в десять

миллионов раз больше объема кристалла. Расчет такого критического объема (массы) пробы производится по формулам типа:

$$q = k \frac{d}{c}, \quad (3.2)$$

где q — объем пробы, м³;
 d — средняя масса одного кристалла полезного минерала, мг;
 c — среднее содержание полезного минерала в руде, мг/м³;
 k — коэффициент надежности ($k \approx 1,5-2$).

Погрешности оценки среднего содержания по пробам объема q недопустимо велики вследствие невыдержанности объемов отдельных кристаллов полезного минерала и неравномерности их пространственного размещения в объеме продуктивной залежи.

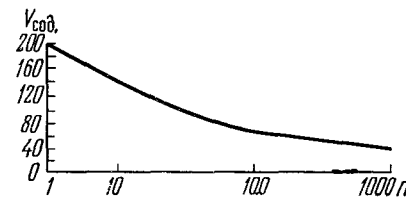


Рис. 14 Зависимость коэффициента вариации содержания $V_{\text{сод}}$ от среднего числа алмазов в пробе n (по А. А. Малаеву).

Для оценки их среднего содержания с заданной погрешностью p и вероятностью t объем пробы q увеличивается в n раз. Число n рассчитывается по формуле

$$n = \frac{t^2 V^2}{p^2}, \quad (3.3)$$

где V — коэффициент вариации содержаний полезного компонента по пробам, объемом q в зависимости от среднего числа кристаллов полезного минерала в них.

Коэффициенты вариации определяются экспериментально, так как их значения зависят от вариаций объемов кристаллов полезного минерала и характера их пространственного размещения в контурах промышленной минерализации. На рис. 14 приведена кривая зависимости коэффициента вариации содержания алмазов от среднего их числа в пробе по данным опробования коренных алмазных месторождений.

Х. де Вийсом в 1953 г. предложена формула, определяющая зависимость дисперсии логарифмов содержаний полезного компонента σ_{\ln}^2 от объемов проб v и объемов опробуемых блоков V

$$\sigma_{\ln}^2 = \alpha \ln \frac{V}{v}, \quad (3.4)$$

где α — коэффициент, характеризующий степень взаимосвязи значений содержаний в смежных пробам.

Формула Х. де Вийса справедлива, если статистическое распределение содержаний в минерализованном объеме недр не противоречит логнормальному закону, а их значения в смежных пробам взаимозависимы. Эти условия выполняются, когда объемы рудных

минералов заведомо меньше объемов проб, а содержания их невелики.

Оценка влияния объемов проб на характеристики изменчивости содержаний определяется логарифмом отношения объемов $\frac{V}{v}$.

В отличие от случая опробования рыхлых, перемешанных минеральных масс, увеличение объема проб v в n раз не уменьшает дисперсии в n раз. Следовательно, при опробовании скоплений полезных ископаемых на месте залегания лучше отбирать много проб малых объемов, чем мало проб большого объема.

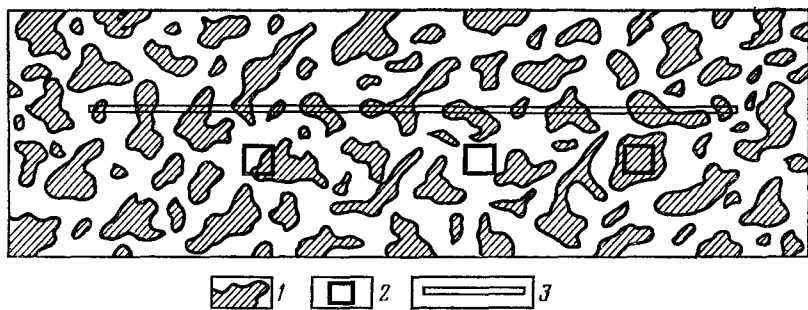


Рис. 15. Схема отбора проб одинакового объема, но разных форм
1 — минеральные скопления, 2 — пробы кубической формы, 3 — линейные пробы

Влияние форм и размеров проб на характеристики изменчивости содержаний. Дисперсия содержаний по пробам равных объемов, отобранных на месте залегания полезного ископаемого, может сильно варьировать в зависимости от их формы. Причина этой зависимости хорошо иллюстрируется на примере проб элементарно малых объемов, соизмеримых с объемами скоплений полезных минералов в рудах. Элементарно малая проба кубической формы может состоять либо из чистого рудного минерала, либо из пустой породы, а линейная проба того же объема (например, метровая проба толщиной в десятую долю миллиметра) включит в себя многочисленные рудные и безрудные интервалы. Из рис. 15 очевидно, что дисперсии содержаний, вычисленные по ряду проб кубической формы, будут резко отличаться от дисперсий, вычисленных по ряду линейных проб. Оценка степени влияния форм и размеров проб на дисперсию содержаний по ним возможна на основе понятия «линейного эквивалента», предложенного Ж. Матероном [27].

Линейным эквивалентом пробы объемом v называется линейная проба l , обладающая бесконечно малым поперечным сечением и имеющая ту же дисперсию содержаний, что и проба объемом v .

Для изотропного строения тел полезных ископаемых линейные эквиваленты простейших геометрических фигур равны: для куба.

со стороной a , $l=2,7 a$; для параллелепипеда со сторонами a , b и c при условии, что $a \geq b \geq c$

$$l = a + b + \frac{c}{2}. \quad (3.5)$$

Применяя формулу (3.5) для расчета линейных эквивалентов бороздовых проб, легко убедиться, что их значение зависит в основном от длин проб. Так, линейные эквиваленты двух бороздовых проб длиной по 2 м и с поперечными сечениями 20×10 и 1×1 см составят, соответственно, 225 и 201,5 см. Линейные эквиваленты обеих проб разнятся только на 10%, хотя их объемы различаются в 100 раз. В равной степени это справедливо для керновых проб, линейный эквивалент которых

$$l = a + 0,75d\sqrt{\pi}, \quad (3.6)$$

где a — длина керна;
 d — диаметр керна.

Переход от объемов проб к их линейным эквивалентам позволяет учесть влияние размеров проб на статистические характеристики содержаний полезных компонентов.

Если длины бороздовых проб несоизмеримо больше двух других их размеров, можно считать, что при одинаковой их ориентировке линейные эквиваленты объемов этих проб практически равны их длинам.

Для сравнения результатов опробования по бороздовым и валовым пробам также необходимо рассчитать их линейные эквиваленты. Так, например, линейный эквивалент валовой пробы, отобранной с 1 пог. м орта сечением $2,0 \times 1,7$ м, составит: $l_{\text{вал}} = 2,0 + 1,7 + 0,5 = 4,2$ м; а линейный эквивалент сопряженной с ней бороздовой пробы длиной 1 м и сечением 10×2 см будет: $l_{\text{бор}} = 1 + 0,01 = 1,11$ м.

Следовательно, для получения сравнимых характеристик изменчивости по обоим видам опробования необходимо увеличить длины бороздовых проб примерно в четыре раза.

Для случаев анизотропного строения полезного ископаемого в формулу линейного эквивалента бороздовой пробы следует внести поправки

$$l = a + \frac{b}{k} + \frac{c}{2m}, \quad (3.7)$$

где a — размер пробы по направлению максимальной изменчивости содержания;

b , c — размеры пробы, соответственно, по направлениям средней и минимальной изменчивости содержания;

k , m — коэффициенты, указывающие, во сколько раз изменчивость содержания по данному направлению меньше, чем по направлению максимальной изменчивости.

Введением поправок за анизотропию строения залежи учитывается влияние еще одного геометрического элемента пробы — ее ориентировки.

С изменением линейных размеров проб изменяются представления о наблюдаемой статистической неоднородности строения полезных ископаемых, величина которой определяется отношением размеров элементов неоднородности к линейным размерам пробы. С увеличением размеров проб количество входящих в нее элементов неоднородности увеличивается, а дисперсия и асимметрия распределения содержаний соответственно уменьшаются.

Зависимость статистических характеристик изменчивости содержаний от геометрии проб проявляется в чистом виде лишь для смежных проб, отобранных в пределах ограниченных статистически однородных участков. В практике геологоразведочных работ, когда пункты опробования отстоят друг от друга на некоторых расстояниях, приходится иметь дело с суммарным эффектом действия статистической и геологической неоднородностей в связи с систематическим изменением средних содержаний по профилю опробования.

Важнейшими понятиями теории опробования являются понятия достоверности и представительности проб.

Проба считается полностью достоверной, если содержание компонента по ней соответствует его содержанию в том объеме, из которого она отобрана. Для полностью достоверной пробы обеспечивается равенство $c = c_i$, где c — истинное содержание компонента в опробуемом объеме, а c_i — содержание, полученное по пробе. Величина $\Delta = c - c_i$ характеризует погрешность опробования, которая складывается из технических погрешностей пробоотбора, обработки и анализа пробы [49].

Погрешность опробования может быть случайной и систематической. Случайная погрешность опробования определяется равенством

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = 0 \text{ при } n \rightarrow \infty, \quad (3.8)$$

где n — количество отобранных проб

Систематическая погрешность опробования имеет постоянный знак и величину. Она возникает в результате направленного, однозначного действия каких-либо факторов в процессе отбора, обработки или анализов проб.

В реальных пробах должны практически отсутствовать систематические погрешности, а случайные погрешности не должны превышать установленных пределов.

Значительно более сложным является понятие представительности пробы. Одни считают, что проба должна представлять именно то место, в пределах которого она отобрана, другие — относят представительность проб к некоторому объему полезного ископаемого, непосредственно примыкающему к месту пробоотбора. М. Н. Альбов [4] понимает под представительностью пробы «... степень соответствия содержания компонентов в пробе содержанию их в забое, от которого отобрана проба», а В. М. Крейтер [22] — «.. степень соответствия содержания компо-

нентов в пробе содержанию их в том целом, от которого она отобрана». В последнем случае неясно, что надо принимать за целое, которое в той или иной мере представляет отдельная проба.

Из приведенного выше очевидно, что при опробовании массива полезного ископаемого в коренном залегании каждая отдельная проба не может быть представительной. Представительными могут быть только оценки средних содержаний, вычисленные по достаточно большому количеству частных проб.

Степень представительности частной пробы может быть оценена величиной возможной погрешности содержания в ее вероятностном выражении по отношению к некоторому элементарному объему недр [49]. Для того чтобы исключить влияние автокорреляции и геологической неоднородности на оценку дисперсии содержаний, степень представительности частной пробы лучше определять относительно ее «ближайшего района» в объеме, непосредственно примыкающем к пробе в интервалах, равных половине расстояния до соседних проб, используя для расчета среднего квадратичного отклонения только случайную составляющую дисперсии содержаний. Степень представительности частной пробы выражается в этом случае как:

$$\Delta_{пр} = t \cdot s_{сл}, \quad (3.9)$$

где $s_{сл}$ — оценка среднего квадратического отклонения содержания в пробе, вычисленная по величине случайной составляющей дисперсии содержания.

В более общем виде степень представительности пробы по отношению к ее ближайшему району может быть выражена вероятностной оценкой коэффициента вариации случайной составляющей содержаний по пробам в пределах геологически однородного блока.

Оценка степени представительности пробы является понятием сложным. Она зависит от оценок случайных составляющих дисперсий, значения которых определяются природными особенностями полезных ископаемых, геометрией проб и геометрией разведочной сети. Чем прерывистей строение полезных ископаемых, неравномернее их пространственное размещение, больше различия в размерах отдельных скоплений полезных минералов и меньше их общая концентрация в опробуемом объеме, тем ниже степень представительности пробы. Она уменьшается также с уменьшением масс и размеров проб и с увеличением расстояний между соседними пунктами пробоотбора.

§ 3. Системы разведки и принципы систематизации разведочных данных

Прослеживание природных скоплений полезных ископаемых в недрах производится с помощью разведочных выработок, в качестве которых могут использоваться поверхностные или под-

земные горные выработки и разведочные скважины. Любая разведочная выработка, пересекающая скопления полезного ископаемого в недрах, представляет собой искусственное обнажение и может рассматриваться как разведочное пересечение.

Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует разведочный разрез, а совокупность разведочных разрезов образует в пространстве разведочную систему.

Разведочное пересечение должно располагаться в направлении, по возможности близком к максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах и вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность, захватывая прилегающие к ним участки вмещающих пород. Обычно это направление совпадает с направлением истинных мощностей природных минеральных тел.

Разведочное пересечение может быть создано с применением различных технических средств. Чем сложнее строение полезного ископаемого и труднее расшифровываются геологические закономерности локализации полезной минерализации, тем больше должны быть размеры обнаженных поверхностей и детальней комплекс непосредственных визуальных наблюдений. Наиболее полно эти условия обеспечиваются при использовании разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение всегда является сплошным, что обеспечивает полную информацию о свойствах полезного ископаемого по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения этих свойств предельно близки к истинным. Они расходятся с ними только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные разрезы могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к зонам или телам полезных ископаемых. Особую группу образуют разведочные разрезы, ориентированные в продольных плоскостях маломощных тел полезных ископаемых, когда их мощности вписываются в поперечные сечения разведочных горных выработок.

Разведочные пересечения могут располагаться в пределах разведочного разреза параллельно под различными углами или пересекая друг друга, образуя прерывистые или непрерывные разведочные разрезы.

Достоверные данные о строении и свойствах полезных ископаемых и вмещающих пород в плоскости разведочного разреза обеспечиваются только по линиям разведочных пересечений. Представления о свойствах полезных ископаемых в промежутках между разведочными пересечениями могут быть получены лишь путем интерполяции фактических наблюдений. Вычисленные по разрезу средние значения свойств полезного ископаемого расходятся с истинными их значениями не только из-за технических погрешностей наблюдений, но и вследствие погрешностей распространения данных по пересечениям на прилегающие к ним площади, которые за-

висят от расстояний между смежными разведочными пересечениями.

Разведочной системой называется совокупность определенным образом расположенных разведочных разрезов. По пространственной ориентировке разведочных разрезов разведочные системы разделяются на три класса:

- системы вертикальных разрезов;
- системы горизонтальных разрезов;
- системы продольных разрезов.

Системы вертикальных разрезов применяются при разведке горизонтально залегающих, наклонных и изометрических залежей, а системы горизонтальных разрезов — при разведке крутопадающих залежей и тел изометрической формы. Системы разведки продольными разрезами с помощью разведочных горных выработок используются для разведок маломощных жило- и плаstopодобных залежей.

По признаку взаимного расположения разведочных пересечений в разрезах в каждом классе выделяются группы систем, а в зависимости от применяемых разведочных средств в каждой группе могут быть выделены различные виды разведочных систем.

Группировка разведочных систем приведена в табл. 6.

Решающее влияние на выбор класса разведочных систем оказывают условия залегания и морфологические особенности залежей. Выбор группы системы зависит от сложности их морфологии и строения. Выбор вида системы определяется характером строения, сложностью выявления рудоконтролирующих и рудолокализирующих элементов геологического строения, а также горно-геологическими условиями разведываемого участка.

При прослеживании и оконтуривании природных скоплений полезных ископаемых с помощью разведочных систем представления об их геологическом строении отражаются на разведочных разрезах. Суждения о строении полезного ископаемого в объемах между разведочными разрезами основано только на результатах интерполяции данных по смежным разрезам. Поэтому полнота и достоверность представлений о разведываемом объекте зависят от расстояний между соседними разведочными разрезами.

В продольной плоскости залежи полезного ископаемого совокупность параллельных разведочных разрезов образует систему разведочных линий. В результате пересечения разведочных линий двух взаимно ортогональных направлений образуется разведочная сеть. Важнейшей характеристикой разведочной сети является ориентировка, форма и размеры ее ячейки.

Совокупность сведений об ориентировке, форме и размерах ячейки разведочной сети в продольной плоскости минерализованной зоны или залежи называется геометрией разведочной сети. В практике разведки наиболее широко используются квадратные, ромбические и прямоугольные сети.

Группировка разведочных систем

Класс (по взаимному расположению разрезов)	Группа (по взаимному расположению разведочных пересечений в разрезе)	Вид (по совокупности применяемых разведочных средств)
1	3	3
I. Вертикальные разрезы	1. Параллельные вертикальные пересечения 2. Параллельные наклонные пересечения 3. Пересекающиеся вертикальные и горизонтальные пересечения 4. Пересекающиеся наклонные пересечения 5. Пересекающиеся горизонтальные и наклонные пересечения 6. Веерообразные пересечения	Скважины, поверхностные горные выработки Подземные горные выработки Скважины и поверхностные горные выработки Скважины и подземные горные выработки Скважины, поверхностные и подземные горные выработки Подземные и поверхностные скважины, горные выработки и шпурь
II. Горизонтальные разрезы	1. Параллельные горизонтальные пересечения 2. Пересекающиеся непараллельные пересечения 3. Радиальные (веерообразные пересечения)	Горные выработки Горные выработки и скважины Горные выработки, скважины и шпурь
III. Продольные разрезы	1. Горизонтальные пересечения 2. Горизонтальные и вертикальные (наклонные) пересечения	Горные выработки Горные выработки и шпурь

Применение геометрически правильных разведочных сетей обеспечивает объективность выборочных данных, способствует выявлению неслучайных составляющих изменчивости геологоразведочных параметров и благоприятствует применению математических методов их обработки.

При использовании прямоугольной сети длинная сторона ее ячейки ориентируется в направлении наименьшей изменчивости свойств полезного ископаемого. При резкой анизотропии строения (например, при разведке лентообразных залежей) прямоугольная сеть превращается в систему разобщенных разведочных разрезов. Расстояния между такими разрезами часто на порядок больше расстояния между смежными разведочными пересечениями в плоскости каждого разреза. Учет анизотропии строения природных минеральных скоплений при выборе ячеек разведочных сетей минимизирует значения погрешностей аналогии при распростране-

нии данных, полученных по разведочным пересечениям на прилегающие к ним объемы недр (рис. 16).

Важнейшие свойства полезных ископаемых, наблюдаемые по разведочным пересечениям, определяющие условия залегания, форму, строение и состав минеральных скоплений в недрах, называются геологоразведочными параметрами.

К геологоразведочным параметрам, характеризующим форму и условия залегания минеральных скоплений, относятся наблюдаемые значения мощностей залежей и отметки (координаты) их кровли и почвы. Они относятся к отдельным точкам или линиям и представляют собой векторные величины. Наблюдаемая изменчивость этих геологоразведочных параметров, измеренная по одному и тому же направлению для одной и той же залежи полезного ископаемого, зависит только от расстояний между соседними пунктами наблюдений.

К геологоразведочным параметрам, характеризующим строение и состав минеральных скоплений относятся содержания полезных и вредных компонентов в контурах залежи и объемные массы руд. Их замеры производятся в некоторых элементарных объемах внутри залежей полезных ископаемых, а их значения представляют собой скалярные величины. Наблюдаемая изменчивость этих значений зависит не только от расстояний между соседними пунктами наблюдений, но также и от размеров, форм и ориентировки отбираемых проб.

К комплексным геологоразведочным параметрам относятся метропроценты (метрограммы), характеризующие «линейные» запасы залежей по отдельным пересечениям и коэффициенты рудоносности (продуктивности), вычисленные по отдельным разведочным пересечениям.

Значения комплексных геологоразведочных параметров зависят от расстояний между соседними пунктами наблюдений, форм, размеров и ориентировки проб.

Все разведочные пересечения подвергаются опробованию путем отбора порций минерализованных пород с последующим испытанием (анализом) отобранных проб или путем определения важнейших свойств полезного ископаемого непосредственно в естественном залегании.

Проба представляет собой единичное наблюдение, предназначенное для определения одного или нескольких свойств полезного ископаемого.

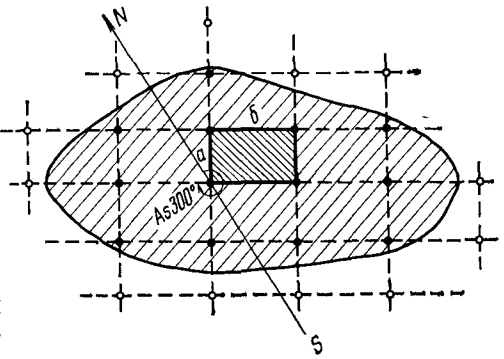


Рис. 16. Разведочная сеть и геометрия ее ячейки.

§ 4. Моделирование месторождений и свойств полезных ископаемых в недрах

Каждая проба характеризуется определенным объемом, формой, размером и ориентировкой. Совокупность этих характеристик объединяется в понятие геометрии пробы. Наряду с природными особенностями полезного ископаемого геометрия отбираемых проб определяет значения численных характеристик наблюдаемых свойств.

Разведочное пересечение может рассматриваться как «сквозная» линейная проба, характеризующая средние свойства полезного ископаемого в данном направлении. Для изучения структуры полезного ископаемого в заданном направлении каждая сквозная проба разделяется на ряд частных, примыкающих друг к другу проб, причем детальность исследования структуры зависит от размеров частных проб. Уменьшая их размеры и увеличивая тем самым общее количество частных проб, можно практически безгранично повышать детальность изучения полезного ископаемого в данном разведочном пересечении.

Экспериментальные данные, полученные по разведочным пересечениям, распространяются сначала на прилегающие к ним площади разведочных разрезов, а средние значения по разведочным разрезам — на примыкающие к ним объемы недр. Из-за несоответствия истинных средних значений геологоразведочных параметров их оценкам по разведочным пересечениям при распространении исходных данных на прилегающие к ним объемы недр возникают погрешности, которые получили название погрешностей геологических аналогий.

Для максимального снижения погрешностей аналогий необходимо оценить и учесть фактические зоны влияния разведочных пересечений. Размеры этих зон зависят от природных особенностей полезных ископаемых и от геометрии проб. Нельзя отождествлять понятия фактической зоны влияния разведочного пересечения с понятием «ближайшего района», т. е. тяготеющего к нему объема недр, формы и размеры которого полностью определяются геометрией разведочной сети.

Оценить размеры фактических зон влияния можно по силе корреляционных связей между значениями геологоразведочных параметров в смежных разведочных пересечениях, с учетом характера анизотропии строения залежей. Зона влияния вытянута в направлении минимальной изменчивости и сжата в направлении максимальной изменчивости изучаемого свойства.

Допустимые пределы погрешности аналогий для оценки разведанных запасов полезных ископаемых и их важнейших геологоразведочных параметров пока что не установлены. Они должны устанавливаться горной промышленностью с учетом особенностей горной технологии и экономики каждого вида минерального сырья, целей и задач разведочных работ.

Моделирование как средство познания закономерностей позволяет судить о свойствах изучаемого объекта путем изучения свойств созданной модели. Оно производится на основе теории подобия, определяющей масштабы моделей и критерии подобия, при соблюдении которых сравнение модели и объекта правомерно.

Моделирование геологического строения месторождений и свойств полезных ископаемых в недрах на основе выборочных геологоразведочных данных представляет собой основной метод их познания в процессе геологоразведочных работ. На различных стадиях этого процесса моделирование может проводиться в масштабах рудных полей, месторождений, тел полезных ископаемых или их участков.

В геологоразведочной практике широко используются графические, объемно-макетные, горно-геометрические и геолого-математические модели строения и свойств скоплений полезных ископаемых в недрах.

Создание графических моделей — геологических разрезов и планов — общепринятый метод познания геологической обстановки, условий залегания природных скоплений полезных ископаемых, их форм и внутреннего строения. Он широко используется при любых геологических исследованиях и сохраняет ведущее значение на всех стадиях геологоразведочных работ. Однако графические модели дают только качественную оценку результатов геологоразведочных работ.

Объемно-макетные модели представляют собой уменьшенные скульптурные, рельефные, скелетные или прозрачные копии рудных полей, месторождений или их участков. Часто они создаются на прозрачной основе, что позволяет наблюдать закономерности изменения изучаемых свойств в пространстве. Объемные модели используются не только для демонстрационных, но и для познавательных целей.

Горно-геометрическое моделирование представляет собой специфическую разновидность графического метода. Основоположителем этого метода является П. К. Соболевский. В основе созданной им геометрической модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. П. К. Соболевским сформулированы принципы и разработана методика геометрического моделирования тел полезных ископаемых.

Геометрическое моделирование числовых значений любого свойства производится графическим путем с помощью изолиний. На планах и разрезах изолинии образуют топографические поверхности и могут рассматриваться как графические выражения функций типа $z=f(x; y)$. Аналитическое выражение таких топографических функций практически невозможно вследствие их исключительной

сложности. Поэтому П. К. Соболевским разработан оригинальный математический аппарат, с помощью которого можно производить с топофункциями любые арифметические и алгебраические действия.

Для случаев сильной природной изменчивости свойств или прерывистости строения полезных ископаемых, когда наблюдаемые значения геологоразведочных параметров не удовлетворяют условиям непрерывности и плавности, они подвергаются операции «сглаживания». Способы сглаживания исходных данных представляют собой не строго математические, а описательные приемы, вуалирующие и смещающие экстремальные значения параметров. Облик скользящей средней зависит от количества последовательных сглаживаний и от характера перераспределения весов проб в скользящем окне. Частные значения объемных геологоразведочных параметров относятся при сглаживании не к реальным физическим объемам (объемам проб или зон их влияния), а к произвольным объемам недр, зависящим от размеров выбранного скользящего окна. Все это лишает горно-геометрическую модель объективности и математической строгости. Однако из-за наглядности и простоты горно-геометрические модели широко используются в структурной геологии, в геологии полезных ископаемых, в рудничной геологии, при поисках и разведках полезных ископаемых. Методы горно-геометрического моделирования изучаются в курсах маркшейдерии и геометризации недр [23, 44].

Геолого-математические модели способствуют описанию количественных характеристик изменчивости свойств полезных ископаемых как основы для оценки вероятных погрешностей разведки и подсчета запасов, повышения информативности исходных данных и оптимизации условий геологоразведочных работ. Кроме того, геолого-математические модели способствуют обобщению и систематике наблюдаемых закономерностей.

Основные принципы геолого-математического моделирования определяются рассмотренными ранее особенностями изучения недр:

— приемлемость математической модели определяется условием соответствия ее свойств свойствам объекта моделирования, точнее, тому представлению, которое сложилось у геолога к моменту моделирования. Практически это означает, что математические модели свойств полезных ископаемых в недрах разрабатываются на основе типовых геологических моделей;

— сложность строения природных скоплений полезных ископаемых и ограниченность эмпирических данных препятствуют широкому применению детерминированных моделей. Большинство моделей строятся на вероятностной основе, хотя проявление случайной изменчивости изучаемых свойств свидетельствует не об отсутствии геологических закономерностей, а лишь о недостатке знаний на данном этапе изучения недр;

— моделируются не «истинные» свойства минеральных скоп-

лений, а изменчивость их свойств, наблюдаемая на изученном масштабном уровне их строения.

Выбор математической модели зависит от объема статистической совокупности данных, целей и задач проводимых исследований, наличия связей между значениями изучаемого признака в смежных пунктах наблюдений и от характера этих связей.

В зависимости от выдержанности формы, сложности строения объекта, размеров проб и расстояний между смежными пунктами наблюдений экспериментальные данные могут представлять собой совокупности:

- случайных взаимонезависимых величин;
- случайных автокоррелированных величин;
- случайных величин с отчетливо проявленной периодичностью;
- пространственно взаимосвязанных величин.

В трех первых случаях наиболее эффективно применение вероятностных моделей с использованием, соответственно, аппарата вариационной статистики случайных величин, теории стационарных случайных функций, гармонического анализа случайных функций или тренд-анализа. В последнем случае возможно использование детерминированных моделей.

Использование статистической модели целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака практически отсутствует закономерная составляющая и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна. Статистическая модель полностью абстрагируется от закономерностей пространственного размещения признаков, обеспечивая вероятностную оценку средних значений и характеристик изменчивости изучаемых свойств в пределах всего разведываемого объема недр. В условиях пространственно связанных, заведомо автокоррелированных случайных величин использование статистической модели нерационально, так как приводит к завышению погрешностей средних оценок и характеристик изменчивости. Не выявляя пространственных связей статистические методы обеспечивают вероятностную оценку только возможных верхних пределов погрешностей средних значений случайных величин и количественных характеристик их изменчивости.

Наиболее полной количественной характеристикой случайной величины x , которая рассматривается в качестве статистической модели геологоразведочного параметра, является функция плотности ее распределения.

В условиях нормального распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.10)$$

где величины μ (математическое ожидание) и σ (стандарт случайной величины) — параметры нормального распределения

Применение статистической модели имеет своей конечной целью:

- оценку неизвестных статистических параметров;
- проверку статистических гипотез.

В геологоразведочной практике особенно часто необходимо дать расчет точечных статистических оценок:

- математического ожидания (среднего значения) случайной величины

$$\mu = \sum_1^n x_i p_i, \quad (3.11)$$

- где p_i — вероятность x_i ;
- дисперсии величины

$$\sigma^2 = \sum_1^n (x - \mu)^2 p_i; \quad (3.12)$$

- коэффициента вариации случайной величины

$$V = \frac{\sigma_x}{\mu} 100, \quad (3.13)$$

- где σ_x — стандарт случайной величины x ;
- коэффициента асимметрии распределения

$$A = \frac{\mu^3}{\sigma^3}; \quad (3.14)$$

- эксцесса распределения

$$E = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3. \quad (3.15)$$

Статистическая проверка гипотез о согласованности эмпирических и теоретических распределений, равенстве выборочных средних или других статистических оценок, о попадании истинного значения в заданный интервал и др. производится с помощью критериев согласия. В качестве критериев согласия используются функции изучаемой случайной величины, значения которых при условии справедливости проверяемой гипотезы распределения по известному закону (критерии Стьюдента, Пирсона, Фишера и др.).

Оценка доверительного интервала λ выборочной средней x для заданной вероятности и числа степеней свободы $n - 1$ производится с помощью критерия Стьюдента t :

$$\lambda = x \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.16)$$

При изучении одновременно двух и более случайных величин используются статистические модели двумерного и многомерного анализов. Так, например, оценка коэффициента корреляции ρ двух случайных величин x и y

$$\rho = \frac{\text{Cov}(x; y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.17)$$

где

$$\text{Cov}(x; y) = \frac{1}{n} \sum_1^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y).$$

Если функции статистических распределений изучаемых геологоразведочных параметров резко отличаются от нормальных, для их нормализации используются логарифмически нормальное распределение (при котором нормально распределены логарифмы значений случайной величины) и реже другие функции распределений.

Применение нормализующих функций имеет практический смысл только при оценках дисперсий и статистических моментов более высоких порядков. На оценку математического ожидания отклонения эмпирических распределений от нормального существенного влияния не оказывают.

Для математического моделирования автокоррелированных эмпирических данных применяются модели типа случайных функций. Как и статистические модели, они основаны на положениях теории вероятности. Моделирование сводится в конечном итоге к получению выборочных характеристик по одной или по нескольким реализациям эмпирических случайных функций и к их оценке путем проверки статистических гипотез.

Модель типа стационарной случайной функции обеспечивает оценку средних характеристик пространственной изменчивости изучаемого признака в зависимости от его геологической природы, густоты разведочной сети и геометрии проб. Оценка осуществляется с помощью автокорреляционных или структурных функций, вычисленных по конкретным реализациям изучаемого признака. Информативность обеих характеристик примерно одинакова. С помощью автокорреляционной функции

$$K_x(h) = \frac{1}{L-h} \int_0^{L-h} [f(x) - \mu_x][f(x+h) - \mu_x] dx, \quad (3.18)$$

- где L — длина исследуемого профиля;
- h — расстояния между пунктами наблюдения;
- $f(x)$ — переменная величина;
- $\mu(x)$ — среднее значение переменной величины $f(x)$ в интервале от 0 до L .

Наглядно выявляется сила связи между наблюдаемыми значениями геологоразведочных параметров при различной густоте разведочной сети и устанавливаются предельные расстояния, на которые эти связи распространяются. Структурные функции

$$\gamma_x(h) = \frac{1}{L-h} \int_0^{L-h} [f(x+h) - f(x)]^2 dx \quad (3.19)$$

более наглядно характеризуют общий размах, скорость, интенсивность изменений геологоразведочного параметра и степени прерывистости оруденения в зависимости от его природных свойств и геометрии проб

Между структурной и корреляционной функциями существует почти строгая зависимость при h заведомо меньшем, чем L

$$\gamma_x(h) = 2[K_x(0) - K_x(h)]. \quad (3.20)$$

Модель типа стационарной случайной функции может использоваться для описания изменчивости наблюдаемых значений геологоразведочных параметров, удовлетворяющих и не удовлетворяющих условиям стационарности. В последнем случае используются характеристики структурных или автокорреляционных функций, осредненные по ряду реализаций, описывающие изучаемые свойства в среднем, в пределах заданного объема. С помощью этой модели могут быть установлены значения случайной и неслучайной составляющих изменчивости, а по соотношениям расстояний предельной корреляции для различных направлений рассчитаны показатели анизотропии изучаемого свойства. Все эти характеристики могут быть использованы для расчета оптимальной геометрии разведочной сети и выборочных оценок важнейших геологоразведочных параметров по результатам разведочных работ.

В условиях отчетливо проявленной периодичности наблюдаемых признаков целесообразно использование модели типа полигармонической случайной функции, когда каждая реализация случайной функции рассматривается, как выражение условного колебательного процесса. Для количественного описания изменчивости геологоразведочного параметра в этой модели используются понятия спектрального состава случайной функции.

Спектральная плотность дисперсии рассчитывается через автокорреляционную функцию с помощью преобразования Фурье

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_x(h) \cos \omega h dh. \quad (3.21)$$

При решении практических задач вследствие дискретности разведочной сети спектральная плотность дисперсии заменяется линейчатым спектром амплитуд гармоник различной частоты

$$\sum_{k=0}^{k=N} d = \sum_{k=0}^{k=N} \frac{1}{2} A_k^2, \quad (3.22)$$

который показывает, каким образом общая дисперсия признака распределяется между отдельными гармониками

Спектр наблюдаемых амплитуд может записываться в виде случайной полигармонической функции

$$F(x) = \psi(x) + n(x),$$

где $\psi_x = A_k \cos(\omega_k x + \varphi)$ — неслучайная полигармоническая функция с конечным количеством гармоник k ,
 $n(x)$ — случайная составляющая наблюдаемой изменчивости признака

Модель обладает всеми свойствами стационарной случайной функции. Она обеспечивает объективные оценки дисперсий случайной и неслучайной составляющих изменчивости признака, а структура линейчатого спектра позволяет получить исходные данные для суждения о строении изучаемого объекта, количестве выявленных структурных уровней и характеристиках элементов их неоднородности.

При плавных, закономерных изменениях свойств полезных ископаемых в недрах, когда значения изучаемого признака могут рассматриваться как функции координат пространства, возможно использование детерминированных моделей типа геометрической модели П. К. Соболевского, аналитической модели Д. А. Казаковского и других аналитических моделей, в которых изменчивость признака выражается через первые или вторые разности.

Геостатистическая модель Ж. Матерона занимает промежуточное положение между детерминированными и вероятностными моделями. В ее основе лежит понятие пространственной переменной, тесно связанной с ее геометрическим полем.

Пространственная переменная может рассматриваться на точечной или на объемной геометрической основе. В последнем случае свойства пространственной переменной функционально связаны с размерами, формой и пространственной ориентировкой геометрической основы. О поведении пространственной переменной x судят по ее полувариограмме, которая для векторного аргумента h в поле V определяется как

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \iint [f(x+h) - f(x)]^2 dV. \quad (3.23)$$

Если распределение геологоразведочных параметров не противоречит логнормальному закону, в практических приложениях используется схема де Вийса. В соответствии с этой схемой полувариограмма определяется как

$$\gamma(h) = 3\alpha \ln h, \quad (3.24)$$

где 3α — коэффициент абсолютного рассеивания,
 h — расстояния между пунктами наблюдения.

Целью геостатистического исследования является оценка средних значений изучаемых свойств полезных ископаемых как функции их пространственной изменчивости в зависимости от геометрии разведочной сети, проб и подсчетных блоков. Для этого путем интегрирования точечных вариограмм изучаемых свойств по геометрическим элементам проб рассчитываются характеристики наблюдаемой изменчивости, учитывающие влияние геометрии

проб, а с их помощью оцениваются дисперсии и ковариации распространения наблюдаемых значений свойства по пробам на весь подсчетный объем

Дисперсии распространения и оценок изучаемых свойств имеют реальный смысл только в условиях непрерывности и пространственной однородности геометрического поля, которые должны быть заведомо доказаны с помощью геологических методов. Поэтому практическое применение геостатистической модели эффективно главным образом в условиях эксплуатационной разведки, когда непрерывность и однородность полезной минерализации в пределах каждого подсчетного блока доказываются опробованием достаточно большого количества разведочных выработок

Различия между геостатистической моделью и моделями типа случайных функций заключаются в том, что предметом изучения геостатистики служит исследование расхождений между оцениваемой величиной Q и ее оценкой q . Сама пространственная переменная рассматривается как детерминированная функция, а вероятностный подход проявляется только при оценке расхождения $\varepsilon = Q - q$. При этом изучаемые объемы недр и условия геологоразведочных работ задаются по горно-геологическим соображениям, а характеристики пространственных переменных определяются для заданных условий

При использовании моделей типа случайных функций предметом исследования являются сами природные скопления полезных ископаемых и их свойства в недрах, а в качестве случайных величин рассматриваются не дисперсии оценок, а значения всех статистических данных. С учетом принятой геометрии проб и разведочной сети в строении полезных ископаемых выявляются элементы неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются для выявленного структурного уровня, а не для заведомо заданных объемов недр

Выбор моделей зависит от целей и задач геологоразведочных работ, геометрии проб и разведочной сети, а также от природных особенностей разведываемых месторождений полезных ископаемых.

Более полные сведения о перечисленных геолого-математических моделях приведены в работах [17, 19, 27, 49]

На ранних стадиях разведки широко используются статистические модели, а по мере накопления эмпирических геологоразведочных данных и детализации работ все большее применение получают горно-геометрические и более совершенные геолого-математические модели. Наиболее благоприятные предпосылки для массового использования геолого-математических моделей создаются при проведении эксплуатационных разведок и других видов геологических работ в условиях действующих горнорудных предприятий

В конкретных геологических условиях на выбор математической модели оказывают влияние: геометрия проб и разведочной сети, размеры практически сплошных природных скоплений полезных ископаемых и характер их строения

Влияние геометрии проб проявляется в том, что с увеличением их размеров и объемов усиливаются автокорреляционные связи наблюдаемых значений геологоразведочных параметров, что способствует применению таких моделей, которые позволяют выявлять и оценивать эти связи

Геометрией разведочной сети определяется порядок выявляемых элементов геологической неоднородности. Редкая сеть наблюдений часто предопределяет необходимость использования только статистических моделей. Более густая сеть с достаточно большим количеством наблюдений в пределах локальных минерализованных объемов недр способствует применению моделей типа стационарной случайной функции, а при охвате значительных объемов недр — типа случайной полигармонической функции

Влияние размеров природных скоплений наиболее отчетливо сказывается при сопоставлении их с размерами оцениваемых объемов недр. Моделирование практически сплошных скоплений, заведомо превышающих возможные размеры шахтных полей, возможно с использованием различных моделей, в том числе геостатистических и моделей типа случайных функций

Для моделирования скоплений полезных ископаемых, сопоставимых по размерам с шахтными полями, но более крупных, чем размеры ячеек разведочной сети, также могут использоваться самые различные геолого-математические модели. Для моделирования свойств по всему объекту в целом рационально применение модели типа случайной полигармонической функции, а для моделирования свойств в пределах детально разведанных локальных объемов — геостатистической модели и модели типа случайных функций

Моделирование свойств природных скоплений малых размеров, заведомо меньших, чем ячейки разведочной сети, возможно только с применением статистической модели

Сплошное однородное строение природных скоплений способствует проявлению автокорреляционных связей между значениями геологоразведочных параметров в смежных пунктах наблюдений, а следовательно, использованию таких моделей, которые обеспечивают разделение наблюдаемой изменчивости на их случайные и неслучайные составляющие. При сложном, прерывистом строении полезных ископаемых часто единственно приемлемой оказывается статистическая модель

При выборе математических моделей нельзя забывать о том, что использование математических методов при решении разведочных задач эффективно только в тесной связи с геологическим изучением объекта разведки. В отрыве от геологии самые совершенные математические модели не обеспечивают даже качественно верного решения поставленных задач. Это связано с тем, что

— любая совокупность экспериментальных геологоразведочных данных ограничена по объему и представляет собой лишь одну реализацию случайной величины или случайной функции из бесконечного количества возможных;

— каждая очередная выборка относится к новому, еще не изученному минерализованному участку недр, для которого неизвестны не только средние значения геологоразведочных параметров, но и характеристики их изменчивости;

— для получения уверенных оценок дисперсий геологоразведочных параметров в разведанных объемах необходимо располагать заведомо большими массивами экспериментальных данных, по сравнению с объемами разведочных выборок, что практически исключает возможность одновременной оценки вероятностных погрешностей среднеблочных значений геологоразведочных параметров и погрешностей оценок их дисперсий по одной и той же выборке;

— при расчетах погрешностей выборочных средних по принципу аналогии используются значения дисперсий (или коэффициентов вариаций) вычисленные для эталонных участков по достаточно большим массивам статистических данных (вместо недостоверных оценок дисперсий, полученных по ограниченным выборкам).

Таким образом, в конечном итоге, достоверность результатов зависит от степени подобия эталона объекту исследования, что можно установить только путем тщательного геологического изучения. При этом количественные характеристики изменчивости важнейших свойств эталона и объекта исследования способствуют уточнению представлений о степени их подобия.

Глава IV

Горно-технологическая оценка объектов разведки

С того момента как минерализованные участки недр становятся объектами геологоразведочных работ, возникает необходимость их изучения и оценки не только как природных геологических образований, но и как полезных ископаемых — потенциальных источников минерального сырья для удовлетворения потребностей народного хозяйства. В отличие от природных минеральных скоплений, разведанные запасы полезных ископаемых в недрах представляют собой не только творение природы, но и продукты общественного труда, поскольку их выявление и оценка требуют соответственных трудовых затрат. Разведанные запасы используются промышленностью для проектирования и строительства горных предприятий. Стоимость разведанных запасов складывается из общественно необходимых затрат на их выявление и разведку и горной ренты (дифференциального рентного дохода), доля которой тем больше, чем лучше качество и технологические свойства полезного ископаемого, больше его запасы, лучше горнотехнические условия разработки месторождения и благоприятнее географо-экономические условия его расположения.

Поскольку объектами разведки являются только те минеральные скопления в недрах, которые удовлетворяют современным тре-

бованиям производства, необходимо учитывать эти требования при геологическом изучении и оценке недр. Ими устанавливается комплекс изучаемых полезных свойств минеральных скоплений и определяются масштабы их исследования.

§ 1. Зависимость представлений о масштабах и ценности природных минеральных образований от требований производства

При решении вопроса о промышленной ценности природного минерального образования учитывается комплекс горно-геологических, экономико-географических и социально-экономических факторов, совокупностью которых определяется относительная хозяйственная эффективность и очередность промышленного освоения разведанных запасов.

Запасами полезного ископаемого определяются масштабы месторождения и годовая производительность будущего горного предприятия. Чем крупнее масштаб месторождения, тем выше годовая производительность горного предприятия и ниже себестоимость добычи единицы горной массы. С увеличением годовой производительности предприятия увеличиваются размеры выемочных участков — этажей, панелей, уступов, блоков и забойных опалок, т. е. тех условно однородных объемов полезных ископаемых, к которым относятся средние значения их изучаемых свойств.

Качество минерального сырья влияет на экономику горного предприятия. Себестоимость конечного продукта обратно пропорциональна содержанию полезного компонента в рудной массе.

От минерального и химического состава, текстурных и структурных особенностей полезных ископаемых зависит разнообразие их природных типов, а природными типами предопределяются технологические свойства минерального сырья.

Природные типы минерального сырья устанавливаются при геологическом изучении недр практически однозначно, а технологические его типы определяются комплексом горно-экономических требований. К различным технологическим типам относится минеральное сырье, которое требует для переработки и извлечения из него полезных компонентов применения различных технологических схем. Минеральное сырье нескольких технологических типов обязательно различается и по природным типам полезных ископаемых, в то время как полезные ископаемые различных природных типов могут относиться к одному технологическому типу минерального сырья.

Технологические сорта минерального сырья различаются друг от друга количественно — чаще всего по концентрации полезных компонентов, вредных или нежелательных примесей.

Технологические свойства зависят от минерального и химического состава, физических свойств, текстурных и струк-

турных особенностей минерального сырья. Промышленная ценность руд в значительной мере определяется экономической эффективностью технологических схем их обогащения и извлечения из них полезных компонентов. Экономическая эффективность технологических схем оценивается системой технико-экономических показателей: коэффициентами извлечения основных и сопутствующих компонентов в концентраты и в конечный продукт, величинами потерь ценных компонентов в хвостах, шлаках и других отходах производства, расходами материалов и реагентов.

Технический прогресс в технике и технологии переработки минерального сырья положительно влияет на оценку перспектив промышленного использования месторождений полезных ископаемых. В связи с этим становится рентабельным освоение ранее не промышленных месторождений или участков убогих и бедных руд, расширяются и изменяются контуры запасов полезных ископаемых различных технологических типов и сортов, увеличиваются размеры оцениваемых участков и блоков.

Условиями залегания полезных ископаемых определяются способы отработки месторождений и себестоимость добычи единицы горной массы. От глубин залегания полезных ископаемых зависят способы вскрытия месторождения и возможная годовая производительность предприятия, а от углов падения залежей — способы их разработки и условия доставки горной массы из открытых забоев.

Морфология и внутреннее строение залежей полезных ископаемых определяют способ вскрытия и систему разработки месторождения. Существенное влияние на горно-геологические условия эксплуатации месторождений оказывают их гидрогеологические и инженерно-геологические особенности.

Прогресс в технике и технологии добычи минерального сырья способствует увеличению глубин и расширению возможностей открытых способов разработки, повышению производительности горных работ и сокращению потерь минерального сырья. Совершенствуются также и подземные системы разработок месторождений, возрастают глубины разработки, увеличивается их производительность и размеры самостоятельных выемочных участков, снижаются потери при добыче.

Важнейшие экономико-географические факторы оказывают существенное влияние на экономические показатели и сроки промышленного освоения месторождений. Особенно большое положительное влияние оказывает наличие в районе горных предприятий, добывающих и перерабатывающих данный вид минерального сырья. В таких случаях экономико-географические факторы являются решающими при определении промышленной ценности месторождения.

В зависимости от сочетания горно-геологических, географо-экономических и социально-экономических факторов сходные по геологической природе скопления полезных ископаемых могут резко различаться по своей промышленной ценности. В одних случаях

они могут быть оценены как непромышленные скопления, в других — как объекты первоочередного промышленного освоения. Поэтому знание основ горной технологии, экономики минерального сырья и геологоразведочных работ необходимо как научная база для оценки степени соответствия природных свойств разведываемых месторождений современным требованиям промышленности и экономики.

§ 2. Влияние условий горной технологии на представления о свойствах полезных ископаемых и об их изменчивости в недрах

По мере изучения геологических особенностей минеральных скоплений в процессе геологоразведочных работ, представления об их масштабах, качестве, морфологии и строении изменяются в зависимости от требований производства и современной горной технологии. Это связано с тем, что естественные геологические границы минеральных образований далеко не всегда совпадают с границами их промышленно-ценных участков, а часто вообще отсутствуют. Размеры и формы промышленно-ценных участков определяются в этих случаях горно-экономическими критериями и, как правило, не совпадают с морфологическими особенностями природных минеральных скоплений. Представления о строении минеральных образований зависят также от принятого масштаба изучения, который определяется требованиями горного производства. Например, серия сближенных жильных образований может рассматриваться как группа рудных тел, если отработка каждой жилы намечается самостоятельной системой горных выработок или как единая штокверкоподобная залежь с прерывистым оруденением, если разработка всей серии жильных образований возможна на одном небольшом карьере.

Среднее содержание полезного компонента в массиве зависит от размеров блока или забоя, к которому оно относится. С изменением этих размеров будут изменяться средние содержания полезных компонентов в них, а следовательно, и представления об изменчивости средних содержаний в недрах. Таким образом, условия разработки, обогащения и переработки полезных ископаемых наряду с природными условиями оказывают решающее влияние на представления о предмете исследования разведки, определяя вместе с ними морфологические особенности промышленных участков, представления об их строении и характеристики наблюдаемой изменчивости геологоразведочных параметров.

При выделении промышленных участков полезных ископаемых перед геологом возникают различные варианты их оконтуривания. Если рудные скопления не имеют четких природных границ, они оконтуриваются по комплексу горно-экономических условий,

например, по заданному содержанию. Выбор оптимального граничного содержания представляет собой сложную горно-геологическую и экономическую задачу. При ее решении должны обеспечиваться такие контуры промышленных участков, которые наиболее полно учитывают природные особенности полезной минерализации и в то же время обеспечивают оптимальные условия разработки полезного ископаемого, приемлемые технологические качества руд и максимальную экономическую эффективность эксплуатации недр. Морфологические особенности промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых зависят от природных свойств минеральных скоплений в недрах, однако каждому варианту оконтуривания соответствуют различные их размеры и формы.

При оконтуривании минеральных скоплений с прерывистым внутренним строением или групп мелких пространственно разобщенных скоплений они объединяются в единые продуктивные залежи. При этом представления о степени их прерывистости зависят не только от геологической природы минерального образования, но и от масштаба, в котором оно изучается. При оконтуривании подобных залежей учитываются масштаб и технологические условия проектируемого производства, размеры забоев горных выработок и объемы селекции полезных ископаемых, т. е. объемы отпалок, черпающих и транспортных сосудов.

§ 3. Геолого-промышленная модель строения полезного ископаемого

Представления о масштабах, морфологии и строении полезных ископаемых, учитывающие требования горной технологии к качеству минерального сырья и горно-геологическим условиям эксплуатации, могут заметно отличаться от представлений, отражающих только геологические особенности природных скоплений полезных ископаемых. Геолого-промышленная модель строения месторождения, так же как и его природная модель, может быть представлена системой соподчиненных структурных уровней. Однако в качестве элементов неоднородности на каждом из них должны использоваться не разномасштабные природные скопления, а различные по величине минерализованные объемы недр, выделенные по геолого-промышленному принципу. Для их выделения в начальный период разведки используются общие геолого-минералогические представления, требования промышленности к минеральному сырью, а позже — кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых.

Требования промышленности к качеству минерального сырья устанавливаются горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленностью для каждого вида минерального сырья с учетом возможностей минерально-сырьевой базы страны, современного состояния и развития технологии его отработки и переработки. В них учитываются природные и технологические типы минераль-

ного сырья, их сорта, предельные средние содержания полезных компонентов в каждом типе и сорте, предельно допустимые содержания в них вредных компонентов или другие специфические требования, определяющие особенности использования данного вида минерального сырья. На каждый технологический тип и сорт минерального сырья, а также на продукты их частичной переработки устанавливаются действующие оптовые цены. Требования промышленности к качеству минерального сырья выражают определенные данные, характеризующие состояние и экономику данной отрасли промышленности в целом.

Кондиции к подсчету запасов в отличие от требований промышленности к качеству минерального сырья учитывают не только состояние и экономику всей отрасли промышленности, но и природные особенности разведываемого объекта, определяющие масштабы запасов и качество полезного ископаемого, его технологические свойства, горно-технологические условия эксплуатации и географо-экономическое положение месторождения.

Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность экономических обоснованных требований к качеству и количеству полезного ископаемого в недрах конкретного месторождения, к горно-технологическим условиям его разработки и переработки. Соблюдение требований кондиций обеспечивает возможность оконтуривания промышленно-ценных запасов минерального сырья в недрах и разделение их на балансовые и забалансовые.

По мере развития геологоразведочных, разведочно-эксплуатационных и горнодобывающих работ, а также горной техники, совершенствования технологии добычи и переработки минерального сырья, при значительном изменении запасов или в случаях установления новых оптовых цен на готовую продукцию, кондиции пересматриваются и уточняются.

Важнейшим обобщающим показателем кондиций является минимальное промышленное содержание полезного компонента (или комплекса полезных компонентов) в подсчетном объеме, при котором заключенные в нем запасы еще могут быть отнесены к числу балансовых.

Остальные показатели кондиций разделяются на группы, определяющие: качество и технологические свойства минерального сырья; условия оконтуривания полезных ископаемых и горно-технологические условия отработки месторождения.

При определении видов и конкретных значений кондиционных показателей учитываются природные особенности строения залежей полезных ископаемых, условия разработки месторождения и переработки минерального сырья.

С учетом требований горной технологии, степени разведанности месторождений, целей и задач геологоразведочных работ в строении промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых

целесообразно выделять шесть последовательных геолого-промышленных уровней:

- 1) продуктивной зоны;
- 2) продуктивной залежи;
- 3) эксплуатационного блока;
- 4) объема селекции;
- 5) штуфа;
- 6) шлифа.

Продуктивная зона (толща) — это такое скопление полезного ископаемого в недрах, которое может быть вскрыто единым комплексом капитальных горных выработок. По масштабу продуктивная зона соответствует самостоятельному участку горнодобывающего предприятия (рудника). Если природные границы месторождения совпадают с границами его промышленно-ценной части, а масштабы минерализации отвечают приведенным требованиям, понятие о природном уровне строения минерализованной зоны и об уровне строения продуктивной зоны практически совпадают. Строение продуктивных зон может быть простым или сложным. Наиболее простым строением обладают продуктивные зоны, состоящие только из одного крупного рудного тела (например, штокверки меднопорфировых руд). Более сложным строением обладают продуктивные зоны, состоящие из систем сближенных, но обособленных в пространстве тел полезных ископаемых. Еще более сложными являются продуктивные зоны, представленные системами разновеликих, в том числе мелких, пространственно сближенных скоплений полезного ископаемого (например, скопления киновари в продуктивных горизонтах кремнистых пород).

В качестве элементов неоднородности на уровне строения продуктивной зоны в начале разведки выступают геологически однородные блоки продуктивной зоны, объединяющие группы сближенных скоплений полезного ископаемого, а при достаточно густой сети наблюдений — отдельные продуктивные залежи.

Продуктивной залежью называется пространственно обособленное скопление полезного ископаемого, которое может быть подготовлено к выемке самостоятельной системой горно-эксплуатационных работ. Если геологические границы природных тел полезных ископаемых выражены отчетливо, а масштабы минерализации соответствуют упомянутым требованиям, понятия о структурных уровнях тела полезного ископаемого и продуктивной залежи практически совпадают. Если же тела полезных ископаемых обладают малыми размерами, исключая возможность их эффективной самостоятельной отработки, то в едином контуре объединяется система пространственно сближенных природных скоплений, которая рассматривается как продуктивная залежь со сложным прерывистым строением. Представления о строении природных тел и продуктивных залежей полезных ископаемых различаются и в тех случаях, когда продуктивные залежи оконтуриваются по более высокому содержанию внутри крупных природных скоплений с убогим оруденением во внешнем ореоле.

В качестве элементов неоднородности на уровне строения продуктивной залежи выступают отдельные подсчетные блоки, обладающие свойствами геологической и технологической однородности. Размеры подсчетных блоков зависят от природных особенностей залежей, степени разведанности запасов и требований к результатам геологоразведочных работ.

Эксплуатационный блок — это участок продуктивной залежи, подлежащий самостоятельной очистной выемке. Контуры эксплуатационных блоков проводятся внутри продуктивных залежей по горно-технологическим соображениям. Природные границы морфологически обособленных участков внутри тел полезных ископаемых обычно не совпадают с границами эксплуатационных блоков.

В качестве элементов неоднородности на уровне строения эксплуатационного блока выступают объемы селекции полезного ископаемого.

Объемы селекции сопоставимы с объемами отпалок полезного ископаемого при его открытой или подземной добыче. Размеры объемов селекции зависят от принятых способов и систем разработки. При карьерной отработке их размеры определяются высотой и шириной уступа, а при подземной разработке — размерами очистных забоев. Когда при добыче полезного ископаемого имеется возможность экспресс-оценки его качества, объемами селекции могут служить объемы черпающих или транспортных сосудов — ковшей экскаваторов, вагонеток, автомашин и др.

Понятие об уровне строения объема селекции часто не согласуется с понятием о каком-либо природном уровне строения полезного ископаемого, так как границы забойных отпалок обычно не совпадают с естественными границами его обособленных скоплений.

Уровень строения штуфа характеризует текстурные особенности и изменчивость свойств в масштабах образцов полезного ископаемого около дециметра в поперечных сечениях.

Элементами неоднородности на этом уровне служат отдельные участки штуфа, соизмеримые с размерами минеральных агрегатов, мелких концентраций полезных минералов и с участками разделяющих их пустых (жильных) пород или минералов.

Уровень строения шлифа является наиболее высоким геолого-промышленным уровнем, который еще представляет непосредственный интерес для геолого-экономической оценки месторождения. Он характеризует микротекстурные или структурные особенности полезного ископаемого и его изменчивость в масштабе отдельного шлифа.

В качестве элементов неоднородности на этом уровне выступают участки шлифа, соизмеримые с размерами отдельных зерен, кристаллов, сростков и агрегатов рудных и породообразующих минералов.

Характеристики неоднородности строения полезных ископаемых на различных геолого-промышленных уровнях используются

в геологоразведочной практике для решения различных методических задач.

При проведении предварительной разведки перво-степенными объектами изучения являются продуктивные зоны или толщи, характеристики изменчивости которых используются для обоснования геометрии разведочной сети и оптимального количества разведочных пересечений.

Основными объектами детальных разведочных работ являются продуктивные залежи и, соответственно, для оптимизации условий геологоразведочных работ используются количественные характеристики их геологоразведочных параметров.

Объектами эксплуатационной разведки являются эксплуатационные блоки. В масштабах этих блоков оцениваются характеристики изменчивости важнейших геологоразведочных параметров, которые используются в дальнейшем для обоснования оптимальных условий геологоразведочных работ и оценки достоверности подсчета запасов.

Объемы селекции представляют собой такие объемы полезного ископаемого, которые независимо от сложности их строения всегда считаются условно однородными. Количественные характеристики изменчивости геологоразведочных параметров в объемах селекции могут быть использованы для разработки кондиций, оценки вероятных содержаний в добытом минеральном сырье, расчета ожидаемых потерь и разубоживания. Характеристики изменчивости полезных ископаемых в масштабе штуфов используются для оценки контрастности оруденения и оптимизации условий пробоотбора.

Для выяснения возможностей обогащения и переработки руд неоднородность их строения изучается в масштабах штуфов и шлифов.

При проведении геологоразведочных работ изучение месторождений всегда начинается с познания их природных геолого-структурных особенностей. Если границы между разномасштабными скоплениями полезных минералов и вмещающими породами проявлены достаточно отчетливо, то по мере детализации наблюдений природные элементы неоднородности в строении минеральных образований выявляются легко и однозначно. При отсутствии четких границ между скоплениями полезных минералов и вмещающими породами выделение природных уровней строения осложняется. Для этого приходится прибегать к данным опробования разведочных выработок, а в качестве критерия для разделения минерализованных и неминерализованных участков пород использовать наименьшие содержания полезных компонентов в пробах, установленные промышленностью для полезного ископаемого данного типа.

После выяснения геологической природы разведуемого месторождения возможен переход к изучению полезных ископаемых на различных геолого-промышленных уровнях их строения и к оценкам количественных характеристик изменчивости их свойств на этих структурных уровнях. На рис. 17 приведено строение участ-

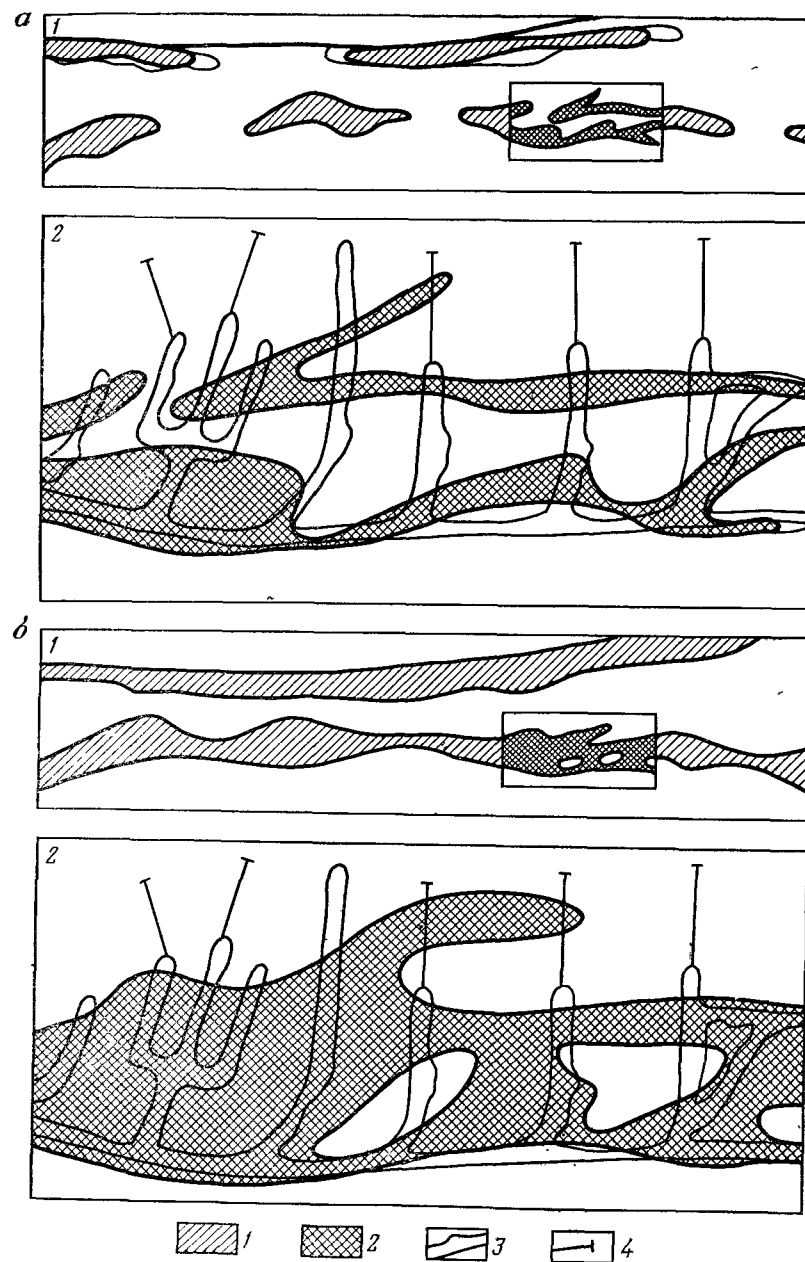


Рис. 17. Геолого-промышленная модель флюоритового месторождения на уровнях строения продуктивной залежи 1 и эксплуатационного блока 2.

а — при оконтуривании по бороздovому содержанию 30% флюорита; б — при оконтуривании по бороздovому содержанию 15% флюорита. 1 — продуктивные залежи; 2 — продуктивные участки, сопоставимые по размерам с размерами эксплуатационных блоков; 3 — горные выработки; 4 — скважины.

Производство геологоразведочных работ

ка флюоритового месторождения на различных геолого-промышленных уровнях в зависимости от принимаемых кондиций. Сравнение рисунков 17 и 7 позволяет судить о том, насколько могут измениться представления о строении месторождения с учетом и без учета требований горной технологии. Для эффективного использования выявленных геологических закономерностей локализации оруденения, правильного выбора методики разведки месторождения и оценки его запасов необходимо установить степень соответствия природных и геолого-промышленных уровней друг другу. Возможные их соотношения показаны на рис 18

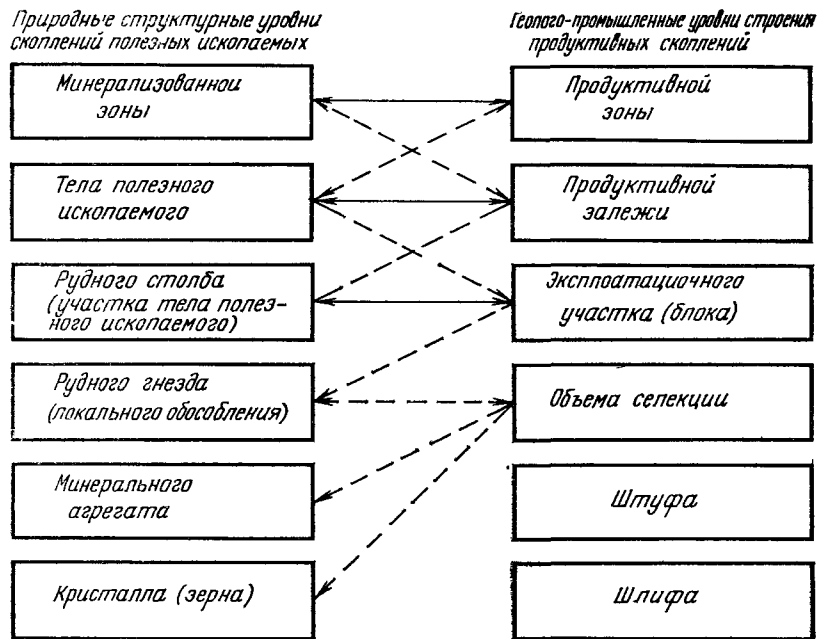


Рис. 18. Схема возможных соотношений природных и геолого-промышленных уровней строения месторождений полезных ископаемых. Сплошными стрелками показаны соотношения этих уровней для флюоритового месторождения представленного на рис 7 и 17

Таким образом, горно-технологические условия эксплуатации месторождения оказывают заметное влияние на методику геолого-разведочных работ, определяя масштабы исследования и комплекс изучаемых свойств минеральных скоплений в недрах. По мере развития геологоразведочных работ представления о строении разведываемых месторождений, морфологии промышленно-ценных минеральных скоплений, запасах и качестве полезных ископаемых неизбежно изменяются в связи с детализацией геологических представлений и под влиянием кондиций горной технологии.

Производство геологоразведочных работ включает в себя проектирование и проведение разведочных горных выработок и скважин, их опробование, геологическую, геофизическую и геохимическую документацию, изучение качества, технологических свойств полезных ископаемых и горно-геологических условий эксплуатации месторождения

Глава V

Оптимизация условий геологоразведочных работ

На каждой стадии разведки перед геологом возникает задача выбора технических средств, системы разведочных работ, обоснования геометрии сети и количества разведочных пересечений, приходящихся на самостоятельно оцениваемые объемы недр. Чем плотнее сеть наблюдений, больше поверхности искусственных обнажений и число разведочных пересечений, тем надежнее результаты геологоразведочных работ, но в то же время значительнее затраты времени и труда. Задача геолога-разведчика сводится к тому, чтобы выбрать наиболее эффективные в данных условиях технические средства и системы разведки, разредить сеть наблюдений и установить минимально допустимое количество разведочных пересечений на подсчетный блок, при которых еще обеспечивается получение достоверных результатов. Выполнение комплекса этих условий называется оптимизацией условий геологоразведочных работ

Оптимизация условий геологоразведочных работ достигается только в тех случаях, когда при минимальных затратах времени и труда полностью обеспечивается выполнение целей и задач очередной стадии геологоразведочных работ. Поэтому в каждом конкретном случае чрезвычайно важно сформулировать их с исчерпывающей полнотой и установить четкие количественные критерии степени разведанности запасов. Без этого задача оптимизации условий геологоразведочных работ становится неопределенной.

Общепризнанных количественных критериев разведанности месторождений полезных ископаемых пока что не установлено. При оптимизации условий геологоразведочных работ приходится ориентироваться на качественные критерии разведанности запасов, установленные действующей классификацией запасов полезных ископаемых и методическими указаниями о стадийности геологоразведочных работ. В конечном итоге требования к разведанности

месторождений полезных ископаемых должны устанавливаться промышленными организациями. Геолог-разведчик может оценить степень разведанности запасов, достигаемую при выполнении заданных условий геологоразведочных работ, а проектные и промышленные организации должны решить вопрос о том, удовлетворяет ли их достигнутая степень разведанности запасов

§ 1. Выбор технических средств и системы разведочных работ

На выбор технических средств разведки и системы разведочных работ оказывают влияние геологические, горно-технологические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений и техника проходки разведочных выработок.

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в конкретных геологических структурах и условия эрозионного среза месторождений. Из них определяющее значение имеют:

- характер связи природных скоплений полезных ископаемых с элементами геологического строения;
- условия их залегания;
- морфология природных скоплений полезных ископаемых;
- строение и состав природных скоплений полезных ископаемых.

Месторождения, в которых залежи полезных ископаемых располагаются согласно с элементами слоистости вмещающих пород, разведуются преимущественно буровыми скважинами, так как устойчивость геологических разрезов рудовмещающих пород обеспечивает уверенное прослеживание залежей и взаимную увязку смежных разведочных пересечений. Разведка стратиформных залежей также возможна с помощью буровых скважин. Подземные горные выработки применяются в ограниченных объемах — для уточнения сведений о морфологии и строении залежей.

Залежи в контактовых зонах магматических пород, обладающие устойчивой формой и простым внутренним строением, разведуются буровыми скважинами. Для разведки плащеподобных залежей, в которых верхняя граница определяется подошвой дальнепринесенных рыхлых отложений, а нижняя — контактом коры выветривания с невыветрелой материнской породой, применяются шурфы или короткие буровые скважины. Аналогично разведуются и россыпные месторождения, для которых верхние границы определяются подошвами торфов, а нижние — поверхностями плотиков. При разведке крупных скарновых месторождений в сочетании с буровыми скважинами широко используются поверхностные и подземные горные выработки. Необходимость их применения связана со сложностью форм и внутреннего строения скарновых залежей.

Разведка залежей, несогласных с напластованием вмещающих пород, но контролируемых выдержанными, легкокартируемыми структурами, осуществляется буровыми скважинами и горными выработками. Применению буровых скважин опосредствуют выдержанность основных рудоконтролирующих структур. Сложные по строению зональные пегматиты и рудные жилы разведуются с преобладанием горных работ над буровыми. В этих случаях буровая разведка применяется только для прослеживания рудовмещающих структур и подтверждения промышленной минерализации на флангах и на глубоких горизонтах, а оценка подсчетных параметров и выявление локальных рудовмещающих структур основываются на данных горных работ.

Разведка мелких скоплений полезных ископаемых секущих слоистость вмещающих пород и контролируемых сложными, труднокартируемыми элементами геологического строения, осуществляется преимущественно горными выработками, так как вследствие малых размеров рудных скоплений и неустойчивости разрезов рудовмещающих пород наблюдений по разведочным скважинам недостаточно для выявления и оконтуривания рудоносных структур. Разведочное бурение используется только для поисков новых минерализованных участков и для подтверждения промышленной минерализации на флангах и на глубоких горизонтах месторождений.

Условиями залегания полезных ископаемых определяют системы разведки, а в сочетании с рельефом поверхности — технические средства разведочных работ. Горизонтальные, пологопадающие и наклонные залежи разведуются системами вертикальных, параллельных разрезов; реже применяются непараллельные или радиальные вертикальные разрезы. При разведке крутопадающих тел с помощью горных выработок обычно создаются горизонтальные разрезы, а с помощью скважин — вертикальные. Для крутопадающих и вертикально ориентированных тел исключается возможность применения ударно-канатных скважин и ухудшаются условия использования колонковых скважин. Мощные пологопадающие и горизонтально залегающие тела легче разведывать буровыми скважинами, чем горными выработками. При их горной разведке приходится создавать сложную систему штреков, квершлагов и гезенков (или вертикальных скважин), в то время как мощные крутопадающие тела разведуются системами ортов и штреков (или горизонтальных скважин).

Элементы залегания тел полезных ископаемых в сочетании с рельефом поверхности определяют тип вскрывающих разведочных горных выработок. Расчлененность рельефа способствует применению разведочных штолен, которые всегда предпочтительнее разведочных стволов шахт. Полезные ископаемые, залегающие согласно поверхностям склонов горного рельефа, легко вскрываются штольневными выработками. При падениях залежей в обратную сторону от склона создаются неблагоприятные условия для их разведки буровыми скважинами.

Морфология природных скоплений полезных ископаемых существенно влияет на расположение разведочных пересечений на ориентировку разрезов и на выбор технических средств разведки. Крупные и очень крупные скопления (площадью несколько квадратных километров и более) разведуются буровыми скважинами. Средние по размерам скопления (площадью с десятки гектаров) разведуются буровыми скважинами в сочетании с горными выработками, а при разведке мелких и очень мелких скоплений (площадью в тысячи и менее квадратных метров) горные выработки резко преобладают над разведочными скважинами.

Форма скоплений полезных ископаемых оказывает влияние на расположение разведочных пересечений в плоскостях разведочных разрезов. Простые и выдержанные по форме пластовые, пластообразные, штокообразные и изометрические тела разведуются системами параллельных вертикальных или горизонтальных пересечений, более сложные ветвящиеся столбообразные и жилоподобные тела — системами радиальных пересечений. Устойчивость форм скоплений полезных ископаемых оказывает влияние и на выбор технических средств разведочных работ. Залежи, устойчивые и простые по форме, успешно разведуются буровыми скважинами. Усложнение и невыдержанность форм требуют применения более густой сети наблюдений, что часто оказывается экономически эффективным только с использованием горных выработок. Иногда форма залежей полезных ископаемых предопределяет и ориентировку самих разведочных разрезов: маломощные жилы разведуются продольными разведочными разрезами, а лентоподобные залежи — системами непараллельных разрезов. Влияние форм скоплений полезных ископаемых на выбор системы разведочных работ заметно ослабевает с увеличением их размеров и практически не ощущается при разведке крупных и очень крупных залежей полезных ископаемых.

Строение и состав полезных ископаемых определяют ориентировку разведочных пересечений и выбор технических средств разведочных работ. Практически сплошное строение полезных ископаемых благоприятствует применению скважин разведочного бурения и параллельной ориентировке разведочных пересечений в плоскостях разрезов. Прерывистое строение заставляет ориентировать разведочные пересечения под различными углами друг к другу, сочетая разведочные скважины с горными выработками. При очень сложном, сильно прерывистом строении используются горные выработки, которые в сочетании с короткометражными скважинами образуют в плоскости разреза сеть перекрестных разведочных пересечений.

Влияние состава и физических свойств полезных ископаемых проявляется особенно резко при выборе геофизических средств разведочных работ. Резкие различия физико-механических свойств полезных минералов и вмещающих пород иногда могут способствовать преимущественному использованию горных выработок по

сравнению с разведочными скважинами, например, для предупреждения систематических погрешностей при опробовании скважин вследствие избирательного истирания керна.

Из горно-технологических факторов наиболее существенное влияние на выбор технических средств и методов разведочных работ оказывают:

— предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения;

— гидрогеологические условия, горно-технические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

При открытых системах разработки снижаются требования к кондиционным показателям для оконтуривания. Это приводит к расширению контуров продуктивных залежей, упрощению их форм и строения. Разведка таких месторождений производится преимущественно буровыми скважинами, тем более что использование горных выработок при последующей карьерной разработке невозможно. Сходные условия возникают и при разведках месторождений, намечаемых к разработке высокопроизводительными подземными системами или способами подземного выщелачивания.

При повышенной водоносности месторождений разведочные горные выработки по возможности заменяются буровыми скважинами, а при горном варианте разведки вскрывающие шахты заменяются дренажными штольнями. Иногда при слабой устойчивости минерализованных пород проводятся полевые штреки вместо рудных, а продуктивные залежи вскрываются системами ортов, гезенков или короткометражных скважин. Большие мощности рыхлых отложений способствуют замене горных выработок буровыми скважинами (особенно в случаях повышенной водоносности наносов). Сильная трещиноватость или сыпучесть минерализованных пород приводит иногда к отказу от колонкового бурения из-за невозможности обеспечить удовлетворительный выход керна.

Географо-экономические факторы в большинстве случаев не играют определяющей роли при выборе систем разведочных работ, но могут оказывать заметное влияние на выбор технических средств. Так, например, близость действующего горнодобывающего предприятия и высокая степень экономического развития района, способствуют более широкому применению горных выработок, по сравнению с разведочными скважинами.

§ 2. Принципы оптимизации разведочной сети

Оптимизация разведочной сети производится на основе данных о наблюдаемой изменчивости важнейших геологоразведочных параметров объектов разведки. В качестве ведущих геологоразведочных параметров в большинстве случаев могут быть использованы линейные запасы (метрпроценты). При отрицательной связи между значениями мощностей и содержания максимальной изменчивостью могут обладать мощности, либо содержания скоплений полезных ископаемых. В таких случаях за основу оптимизации

разведочной сети должна приниматься характеристика более изменчивого параметра.

На стадии предварительной разведки объектом оценки является вся продуктивная зона (или толща) в целом, на стадии детальной разведки — отдельные продуктивные залежи, а на стадии эксплуатационной разведки — отдельные участки (эксплуатационные блоки) продуктивных залежей. В соответствии с этим за основу оптимизации разведочной сети принимаются характеристики изменчивости геологоразведочных параметров продуктивных зон (толщ), продуктивных залежей или их участков.

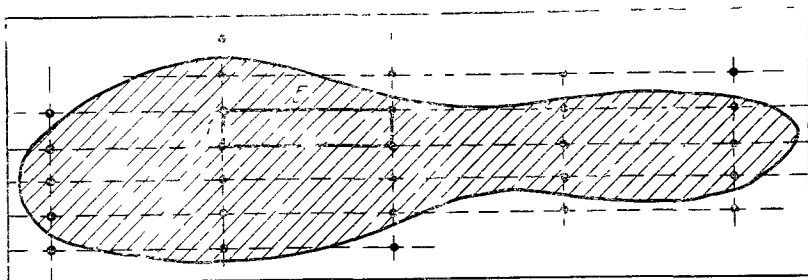


Рис 19 Выбор геометрии ячейки разведочной сети в зависимости от анизотропии формы залежи

При разведке полезных ископаемых прерывистого строения в качестве наиболее изменчивого геологоразведочного параметра иногда принимаются значения «прессованных» линейных запасов (суммарные мощности и содержания рудных интервалов) и коэффициентов рудоносности по сквозным пересечениям. Реже в качестве ведущих геологоразведочных параметров принимаются отметки почвы или кровли продуктивной залежи.

Ориентировка и соотношение сторон ячеек разведочной сети зависит от характера анизотропии ведущего геологоразведочного параметра в продольных плоскостях продуктивных залежей или зон. Длинная сторона ячейки сети ориентируется вдоль направления минимальной изменчивости, а соотношение размеров ячейки устанавливается пропорционально отношению показателей анизотропии геологоразведочного параметра по двум взаимноортогональным направлениям, лежащим в продольной плоскости.

Выбор геометрии ячейки разведочной сети зависит от того, какое свойство полезного ископаемого подлежит более надежной оценке. Для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежи (рис 19), а для надежной оценки качества минерального сырья — характеристики изменчивости линейных запасов или содержаний

Густота разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строе-

ния, целей разведочных работ и размеров оцениваемых (подсчетных) блоков.

Если в задачу разведки входит только обнаружение промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых, то размеры ячеек разведочной сети должны быть сопоставимы с размерами этих скоплений. Для предварительной оценки запасов необходимо, чтобы каждая зона или залежь вскрывалась бы по крайней мере тремя разведочными разрезами при количестве разведочных пересечений в каждом разрезе не менее трех. При детальных разведочных работах степень дальнейшего сгущения сети зависит от сложности геологического строения месторождения полезного ископаемого. В идеальном случае сгущение сети должно проводиться до тех пор, пока условия залегания, особенности морфологии, строения и состава залежей полезных ископаемых не будут выполнены с полнотой и детальностью, необходимой для проведения эксплуатационных работ. Экономически обоснованным пределом рационального сгущения разведочных пересечений можно считать такое расстояние между ними, которое сопоставимо с величиной средней мощности разведываемого скопления полезного ископаемого.

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, может служить выявляемая доля неслучайной (координированной) изменчивости изучаемых свойств залежей полезных ископаемых, так как только при ее наличии правомерна их геометризация. Составляющая неслучайной изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими, статистическими методами или методами статистики случайных функций.

Количество разведочных пересечений определяет вероятные погрешности оценок запасов и средних значений геологоразведочных параметров в пределах подсчетных блоков. Оно зависит от предельно допустимых погрешностей определения каждого геологоразведочного параметра и заданных доверительных вероятностей этих оценок в подсчетных блоках установленных размеров. Зная требования промышленности к точности определения геологоразведочных параметров и характеристики случайных составляющих их изменчивости, можно рассчитать необходимое и достаточное количество разведочных пересечений на подсчетный блок методами математической статистики случайных величин.

Правильно выбранная разведочная сеть должна быть одновременно оптимальной с позиций как геометрии, так и количества разведочных пересечений на подсчетный блок. Таким образом, размеры подсчетных блоков влияют не только на количество пересечений, но и на густоту разведочной сети.

§ 3. Оптимизация разведочной сети при проектировании разведочных работ

При проектировании геологоразведочных работ, когда сведений о геологическом строении месторождения и свойствах полезного ископаемого еще очень мало, оптимизация разведочной сети прово-

дится по аналогии с другими, уже разведанными и освоенными месторождениями данного геолого-промышленного типа. С этой целью в действующих инструкциях ГКЗ СССР по применению классификации запасов к месторождениям различных видов минерального сырья приводятся систематизированные данные о густоте сети горных выработок и скважин, отражающие опыт разведки месторождений различных геологопромышленных типов при оценке запасов по категориям А, В и С₁.

Оптимизация сети на стадии проектирования разведочных работ сводится к тому, чтобы по совокупности известных геологических данных определить геолого-промышленный тип и группу разведываемого месторождения и, ориентируясь на опыт разведки, принять оправдавшую себя на практике геометрию разведочной сети.

На ранних стадиях разведки при выборе сети учитывается возможность ее неоднократного сгущения впоследствии. В практике геологоразведочных работ широко применяются сети с расстояниями между разведочными пересечениями 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12,5 м. Они используются при разведке большинства рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. Разведочные сети с расстояниями 2000, 1000, 50, 250 и 125 м применяются для разведки крупных и выдержанных месторождений преимущественно пластового типа (минеральных солей, угольных бассейнов платформенного типа и др.).

На стадии проектирования целесообразно придерживаться приведенных выше расстояний между смежными разведочными пересечениями, так как отступления от них не могут быть обоснованы из-за отсутствия экспериментальных данных об изменчивости месторождений.

При наличии сведений об анизотропии строения зон или залежей полезных ископаемых вместо квадратных ячеек разведочной сети выбираются прямоугольные. При этом рекомендуемые площади ячеек сохраняются, а их длинные стороны ориентируются по направлению минимальной изменчивости свойств полезных ископаемых.

Для определения примерного количества разведочных пересечений на подсчетный блок пользуются обобщенными эмпирическими данными. В. И. Смирнов при разведке рудных полезных ископаемых рекомендует различать четыре группы месторождений

- непрерывные по кондициям и равномерные по содержанию;
- непрерывные по кондициям, неравномерные по содержанию;
- прерывистые по кондициям, но равномерные по содержанию;
- прерывистые по кондициям и неравномерные по содержанию.

В зависимости от группы месторождения для подсчета запасов категории С₁ рекомендуется соответственно 5, 10, 20 и 30 разведочных пересечений на подсчетный блок. Для подсчета запасов категорий А и В количество пересечений на блок увеличивается в 1,5—2 раза.

При разведке месторождений нерудных полезных ископаемых простого, сложного и очень сложного строения В. М. Борзунов рекомендует ориентироваться, соответственно на 9, 16 и 25 разведочных пересечений на подсчетный блок.

По данным ВИЭМСа [8], при разведке рудных месторождений количество разведочных пересечений от 20 до 30 обеспечивает максимально эффективное снижение погрешностей оценок средних содержаний. При дальнейшем увеличении их числа снижение погрешностей оценок происходит значительно медленнее. Увеличение степени прерывистости полезных ископаемых также приводит к заметному возрастанию погрешностей оценок средних содержаний полезного компонента и коэффициента рудоносности. Поэтому при коэффициентах рудоносности менее 0,7 независимо от количества разведочных пересечений, запасы квалифицируются не выше категории С₁, а при коэффициентах рудоносности менее 0,9 — не выше категории В.

Приведенные в инструкциях ГКЗ и методических руководствах средние статистические данные способствуют решению проблемы оптимизации разведочной сети только в самом первом приближении. Каждое новое месторождение обладает индивидуальными геолого-структурными и морфологическими особенностями, которые должны учитываться при выборе геометрии разведочной сети и обосновании оптимального количества разведочных пересечений на подсчетный блок. При проектировании детальных разведочных работ это возможно на основе геолого-математической обработки результатов предварительной разведки, полученных по эталонным участкам, или материалов по детальной разведке месторождений-аналогов. Обработке подвергаются данные, полученные по совокупности геологоразведочных работ, по детализационным разрезам, причем для получения убедительных результатов количество единичных наблюдений должно быть не менее нескольких десятков.

§ 4. Оптимизация разведочной сети в процессе разведочных работ

В процессе разведочных работ проводится систематическая обработка и анализ получаемой геологической информации: изучаются геологическое строение месторождения, морфология, строение и состав скоплений полезных ископаемых, геометризуются их важнейшие свойства и вычисляются количественные характеристики изменчивости геологоразведочных параметров. Все эти данные служат основой для корректировки разведочной сети в соответствии с геологическими особенностями разведываемого месторождения. Оценка оптимальности разведочной сети и ее корректировка производятся:

- по степени увязки смежных разведочных пересечений и разрезов;
- путем выборочного сгущения разведочных пересечений или разрезов;

— путем создания эталонных разрезов по типичным направлениям изменчивости свойств полезных ископаемых.

В смежных разведочных пересечениях и разрезах прежде всего оцениваются возможность и правомерность взаимовязки

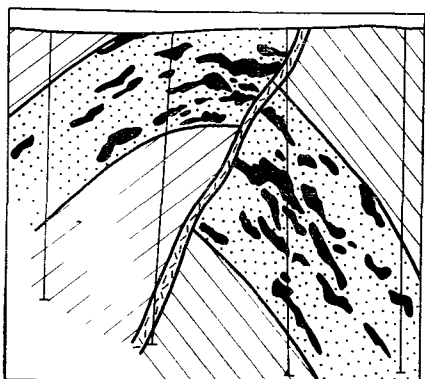
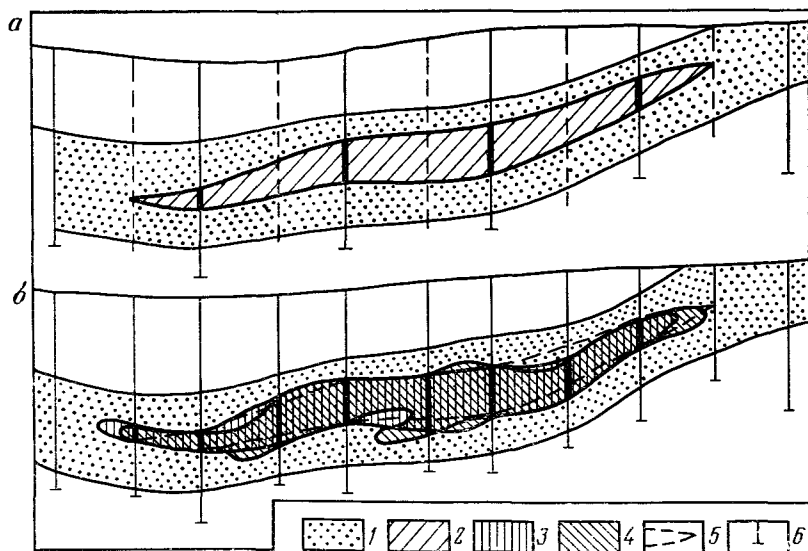


Рис. 20. Пример увязки рудоуправляющей структуры при полной неувязке отдельных рудных скоплений. 1 — сланцы; 2 — кремнистые песчаники; 3 — зона разлома; 4 — истинное расположение и формы рудных скоплений; 5 — скважины

Рис. 21. Подтверждение оптимальности разведочной сети методом выборочного сгущения разведочных пересечений.

a — разрез, построенный до сгущения сети; *b* — разрез, построенный после сгущения сети. 1 — рудовмещающие породы; 2 — контуры залежи по данным редкой сети; 3 — контуры залежи по данным сгущенной сети; 4 — истинные контуры залежи; 5 — проекция контуров, построенных по редкой сети; 6 — скважины



важнейших рудоуправляющих элементов геологического строения и увязки контуров продуктивных скоплений в тесной связи с формой, размерами и ориентировкой контролируемых геологических элементов. Для оценки степени взаимосвязи значений важнейших геологоразведочных параметров (мощностей, площадей, содержания и линейных запасов) используются приемы геолого-математического моделирования.

Если контуры минеральных скоплений в смежных разведочных пересечениях и разрезах не поддаются взаимной увязке, а увязываются лишь рудоуправляющие элементы геологического строения, принятая сеть оптимальна для разведки всей минерализованной зоны в целом, но не для разведки отдельных скоплений полезного ископаемого (рис. 20). Возможность увязки смежных минерализованных интервалов и локальных рудоносных структур свидетельствует о приемлемости сети для разведки самих скоплений полезных ископаемых.

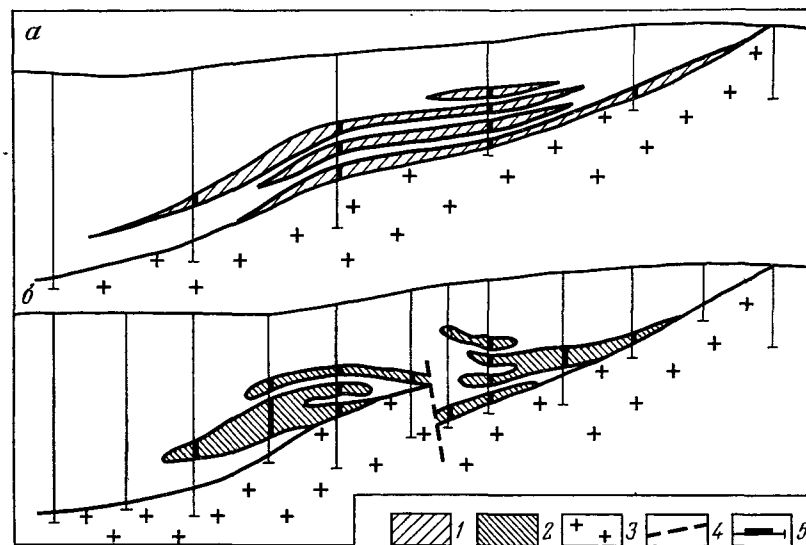


Рис. 22. Подтверждение неоптимальности разведочной сети методом выборочного сгущения разведочных пересечений.

a — разрез, построенный по редкой сети; *b* — разрез, построенный после сгущения разведочной сети. 1 — контуры рудных тел по данным редкой сети; 2 — контуры рудных тел по данным сгущенной сети; 3 — гранитоиды; 4 — тектоническое нарушение; 5 — скважины и рудные интервалы

Выборочное сгущение разведочных пересечений и разрезов проводится для контроля представлений о геологической модели, полученных по пройденной разведочной сети. Для этого по разведочным данным отстраиваются геологические разрезы с контурами продуктивных залежей или зон. Затем сеть разведочных пересечений выборочно сгущается и по совокупности всех наблюдений составляются новые разведочные разрезы. Если новые разрезы мало отличаются от первоначальных, принятую сеть можно считать оптимальной (рис. 21). Если же они приводят к заметным изменениям прежних представлений, это означает, что разведочную сеть следует сгустить (рис. 22).

Создание эталонных участков необходимо в конце каждой стадии разведочных работ. При завершении предварительной разведки на типичном участке месторождения выбираются по крайней

мере два взаимно пересекающихся разведочных разреза в направлениях, совпадающих с ориентировкой линий разведочной сети. По обоим разрезам разведочные пересечения сгущаются до расстояний, соизмеримых с величиной средней мощности продуктивной залежи. Результаты геологического изучения этих разрезов и математической обработки геологоразведочных данных используются при проектировании детальной разведки в качестве эталона-аналога, для оценки строения и вероятных характеристик изменчивости полезного ископаемого на уровне строения продуктивной залежи.

При завершении детальной разведки в пределах типичных участков месторождений, характеризующих различные технологические сорта полезного ископаемого и разные горно-технологические условия, создаются системы сближенных эталонных разрезов. Сеть разведочных пересечений по этим разрезам должна быть более густой, чем на эталонных разрезах предварительной разведки, сопоставимой с объемами селекции полезного ископаемого при его разработке.

В процессе проведения геологоразведочных работ широко используются математические и горно-геометрические методы анализа разведочной сети.

Для геометризации значений изучаемых геологоразведочных параметров в продольных плоскостях залежей через точки, расположенные в центрах «скользящего окна», проводятся изолинии их сглаженных значений. По смыслу эти изолинии близки к «скользящим» средним, так как отражают наиболее вероятные закономерности пространственного размещения изучаемого параметра. В этих случаях дисперсия случайной составляющей изменчивости рассчитывается через отклонения наблюдаемых значений от топографической поверхности. По горно-геометрическим графикам сглаженных значений изучаемого геологоразведочного параметра можно рассчитать показатели его анизотропии в плоскости залежи.

Для оценки характеристик случайной и неслучайной изменчивости геологоразведочных параметров, не отвечающих условиям стационарности, могут быть использованы спектральные плотности (линейчатые спектры), характеризующие распределение дисперсий по частотам полигармонических колебаний наблюдаемых значений параметра.

В условиях массовости исходных данных и стационарности случайных функций наблюдаемых геологоразведочных параметров расчет средних значений погрешностей в заданных объемах недр может быть выполнен и с помощью геостатистических методов на основе определения коэффициента абсолютной контрастности α .

При использовании всех перечисленных моделей необходимо учитывать функции их статистических распределений и проводить расчеты эмпирических функций для логарифмов наблюдаемых значений геологоразведочных параметров, если их распределения асимметричны и не противоречат логнормальному закону.

В качестве примера рассмотрим результаты математической обработки данных опробования рудной жилы по участку детализационных работ. Рудная жила опробована по штреку на протяжении 316 м бороздовыми пробами с интервалами через 2 м (рис. 23). Между мощностью жилы и содержаниями металла уста-

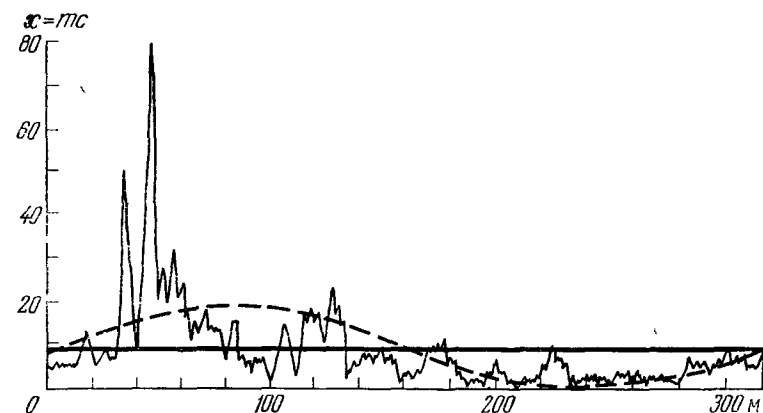


Рис. 23. График изменения продуктивности оруденения по штреку (в условных единицах). Пунктирной линией показана «скользящая средняя» (первая гармоника спектра)

новлена прямая корреляционная связь. Поэтому наиболее изменчивым геологоразведочным параметром является линейный запас $mc = x$. Среднее значение линейного запаса

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} = \frac{\sum_1^{159} x_i}{159} = 7,11 \text{ усл. ед.} \quad (5.1)$$

Дисперсия линейного запаса

$$s^2 = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum_1^{159} (x_i - 7,11)^2}{158} = 138,9. \quad (5.2)$$

Гистограмма линейного запаса характеризуется резкой асимметрией (рис. 24), что свидетельствует о несоответствии статистического распределения этого параметра нормальному закону. К такому же выводу приводит аналитическая оценка асимметрии и эксцесса.

Асимметрия

$$\frac{A}{\sigma_A} = \frac{\sum_1^{159} (x_i - \bar{x})^3}{ns^3\sigma_A} = 4,13, \quad (5.3)$$

где

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{n}}$$

Экцесс

$$\frac{E}{\sigma_E} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{159} (x_i - \bar{x})^4}{ns^4} - 3 \right) : \sigma_E = 21,64, \quad (5.4)$$

где

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24}{n}}$$

Поскольку значения $\frac{A}{\sigma_A}$ и $\frac{E}{\sigma_E}$ значительно больше трех, ряд не может быть аппроксимирован функцией нормального распределения.

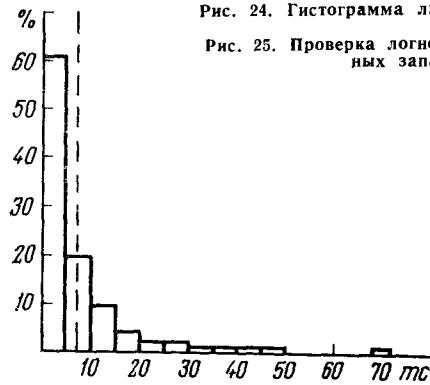
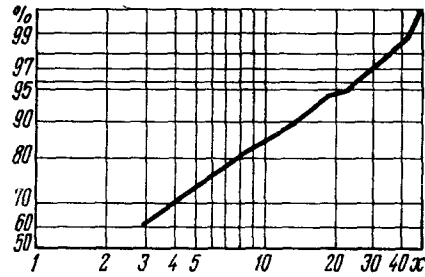


Рис. 24. Гистограмма линейных запасов металла

Рис. 25. Проверка логнормального статистического размещения линейных запасов на вероятностной бумаге



Проверку соответствия распределения x логнормальному закону приводим графически с помощью вероятностной логарифмической бумаги (рис. 25) и аналитически по значениям натуральных логарифмов x

$$\ln x = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} = 0,59, \quad (5.5)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \overline{\ln x})^2}{n-1} = 5,89, \quad (5.6)$$

$$\frac{A_{\ln}}{\sigma_{A_{\ln}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \overline{\ln x})^3}{ns^3 \sigma_{A_{\ln}}} = 1,24, \quad (5.7)$$

$$\frac{E_{\ln}}{\sigma_{E_{\ln}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \overline{\ln x})^4}{ns^4 \sigma_{E_{\ln}}} = 0,44. \quad (5.8)$$

Обе проверки свидетельствуют о том, что функция распределения линейного запаса не противоречит логнормальному закону.

Наличие или отсутствие тренда проверяется по числу точек, в которых знак приращения изменяется на противоположный. Для случайных последовательностей (при $n > 10$) статистическое распределение числа точек смены знака близко к нормальному с математическим ожиданием

$$E_{(t)} = \frac{2n-4}{3} \quad (5.9)$$

и дисперсией

$$\sigma_{(t)}^2 = \frac{16n-29}{90}, \quad (5.10)$$

где t — число точек со сменой знака.

Гипотеза о случайном характере последовательности оценивается по критерию

$$z = \frac{t - E_{(t)}}{\sqrt{\sigma_{(t)}^2}}. \quad (5.11)$$

Она принимается, если вычисленное значение критерия меньше табличного для заданной вероятности, и наоборот. В данном примере $t=73$; $E_{(t)}=104,3$; $\sigma_{(t)}^2=16,9$; $z=7,56$.

Поскольку $z_{0,99} < z_{\text{вычисл}}$, т. е. $3 < 7,56$, гипотеза отвергается, и следовательно, в изучаемом ряду имеется тренд.

Для выделения закономерной составляющей изменчивости используется нормированная автокорреляционная функция

$$r_x(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n-h} (x_i - \bar{x})(x_{i+h} - \bar{x}_h)}{(n-h) s_1 s_2}, \quad (5.12)$$

где h — расстояния между точками наблюдения, выраженные числом интервалов между смежными пересечениями;

\bar{x} — среднее значение ряда с $1 \leq i \leq n-h$;

\bar{x}_h — среднее значение ряда с $h \leq i \leq n$;

s_1 — среднее квадратичное отклонение ряда с $1 \leq i \leq n-h$;

s_2 — среднее квадратичное отклонение ряда с $h \leq i \leq n$;

или линейчатый спектр дисперсий

$$\sum_0^k d_k = \frac{2}{n} + \frac{4}{n} \sum_{h=1}^{\frac{n}{2}-1} r_x(h) \cos \frac{2\pi}{n} kh + 2 \frac{r_x\left(h=\frac{n}{2}\right)}{n} (-1)^k, \quad (5.13)$$

где $d = \frac{1}{2} A^2$ — амплитуды гармоник спектра дисперсий;

k — номера гармоник;

n — общее число наблюдений.

По автокорреляционной функции (рис. 26) устанавливается, что коэффициент корреляции между значениями линейных запасов

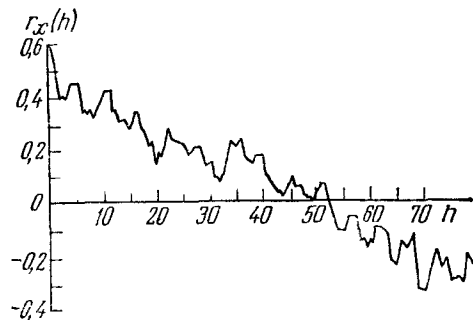
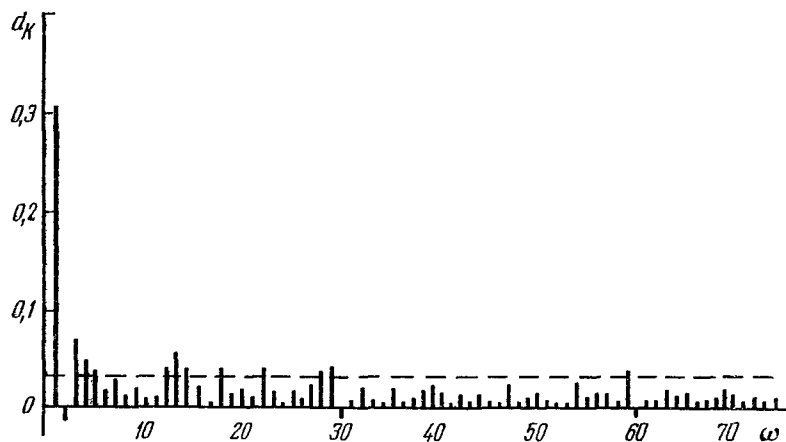


Рис. 26. Корреляционная функция характеристик линейных запасов металла

Рис. 27. Линейчатый спектр плотностей дисперсий линейных запасов металла. Пунктирная линия — предельное значение фоновых значений d_k .



изменяется от 0,5 при расстояниях между смежными пробами 2 м ($h=1$) до нуля — при расстояниях между ними около 80—100 м ($h=40—50$). Появление отрицательных значений коэффициента корреляции при расстояниях между пробами более 100 м свидетельствует о том, что в пространственной изменчивости линейных запасов наблюдается периодичность с длиной волны, сопоставимой с опробованной длиной штрека. Флюктуации автокорреляционной функции указывают на существование мелких периодических колебаний в значении линейного запаса. Для того чтобы геометри-

зовать низкочастотную закономерную составляющую линейных запасов по простиранию жилы, необходимо обеспечить расстояние между смежными пробами (разведочными пересечениями) заведомо меньше 80 м ($40h$).

Более корректная оценка закономерной составляющей пространственной изменчивости линейного запаса в зависимости от средних расстояний между смежными пробами обеспечивается с помощью линейчатого спектра дисперсий линейных запасов (рис. 27). Для этого, задаваясь доверительной вероятностью (например, 95%), статистически нужно оценить долю аномальных

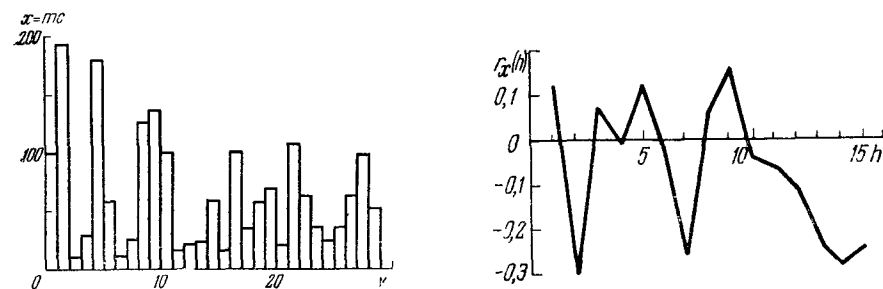


Рис. 28. График изменения линейных запасов титана по разведочному разрезу титаномагнетитовой россыпи

Рис. 29. Корреляционная функция линейных запасов титана

гармоник спектра ($d_{k \text{ ан}}$) и вычесть их из единицы. В рассматриваемом примере сумма аномальных гармоник, т. е. доля закономерной составляющей изменчивости линейного запаса, при $k=1$ составляет 0,651. Более 30% дисперсии связано с первой низкочастотной гармоникой, длина которой равна опробованной длине штрека (см. рис. 23), а остальные 30% распределяются по 12 другим, нередко высокочастотным гармоникам. Спектром подтверждается целесообразность геометризации только первой гармоники, что может быть достигнуто при сети 80 м ($1/4$ длины первой гармоники). В этом случае на долю случайных гармоник останется $1 - 0,31 \approx 0,69$ общей доли дисперсии, которую и следует использовать при расчетах погрешностей линейных запасов и средних содержаний металла в блоках, разведанных по сети порядка 80 м. Дальнейшее сгущение сети наблюдений нецелесообразно, так как это не приведет к существенному уменьшению доли случайной изменчивости линейных запасов. Например, уменьшение расстояний между смежными пробами до 20 м позволит геометризовать третью гармонику, однако это уменьшит долю случайных гармоник всего лишь на 0,08.

В качестве другого примера рассмотрим данные по разведочному разрезу титаномагнетитовой россыпи. Значения линейных запасов титана по 29 скважинам, пробуренным с интервалами через 10 м, показаны на рис. 28. Статистические характеристики линей-

ных запасов: $x=61$; $s^2=3137$; $\frac{A}{\sigma_A}=1,53$; $\frac{E}{\sigma_E}=2,01$ свидетельствует о том, что данная совокупность удовлетворительно описывается функцией нормального закона статистического распределения.

Проверкой гипотезы о наличии тренда установлено $t=15$; $E_{(t)}=18,3$; $\sigma_{(t)}^2=72,5$; $z=0,39$. При таких значениях принимается гипотеза о случайности ряда.

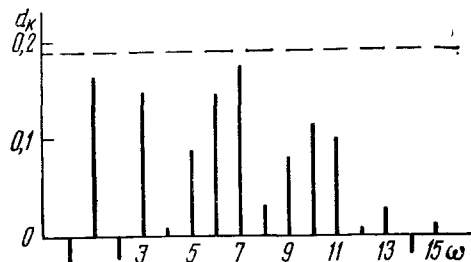


Рис. 30. Линейчатый спектр плотностей дисперсий линейных запасов титана.

Пунктирная линия — предельное значение фоновых значений d_k

По оценке автокорреляционной функции (рис. 29) и линейного спектра дисперсии линейных запасов (рис. 30) для данной густоты сети также устанавливается отсутствие закономерной составляющей изменчивости этого параметра, так как $d_{h \text{ ап}}=0,19$, а значение наибольшей гармоники спектра 0,17.

При отсутствии закономерной составляющей изменчивости линейных запасов, их значения не могут быть геометризованы. Можно определить только вероятную погрешность оценки $x=61$.

$$\Delta_x = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{\frac{3137}{29}} = 10,3. \quad (5.14)$$

Следовательно, с вероятностью 68% ($t=1$) истинное среднее значение линейного запаса по разрезу находится в интервале 50,7—71,3. В данном случае при густоте сети наблюдений 10 м и более она не оказывает существенного влияния на результаты оценки линейных запасов, так как ведущее значение имеет только количество скважин в подсчетном контуре.

Для оценки детальности оконтуривания залежей полезных ископаемых определяются погрешности геометризации их контуров. С этой целью контуры залежей, построенные по предельно густой сети, условно принимаются за «истинные» и сравниваются с разведанными контурами, отстроенными по редкой сети наблюдений.

При совмещении разведанных и истинных контуров обнаруживаются расхождения двоякого рода. В одних местах истинный контур полезного ископаемого выходит за пределы контура, отстроенного по данным более редкой сети, а в других — в отстроенном рудном контуре обнаруживаются безрудные участки. В результате в плоскости разреза образуются площадки, искажающие истинное положение контура запасов (рис. 31). Отношение суммы этих площадок (без учета знака) к величине истинной рудной

площадки Д. А. Зенков (1957 г.) предложил рассматривать как ошибку приконтурных искажений Δ

$$\Delta = \frac{\sum |S'|}{S_{\text{ист}}}. \quad (5.15)$$

Ошибка приконтурных искажений характеризует степень совпадения истинного контура с контуром залежи, геометризованным по данным разведки, но обладает тем недостатком, что ее абсолютная величина может значительно превышать 100%.

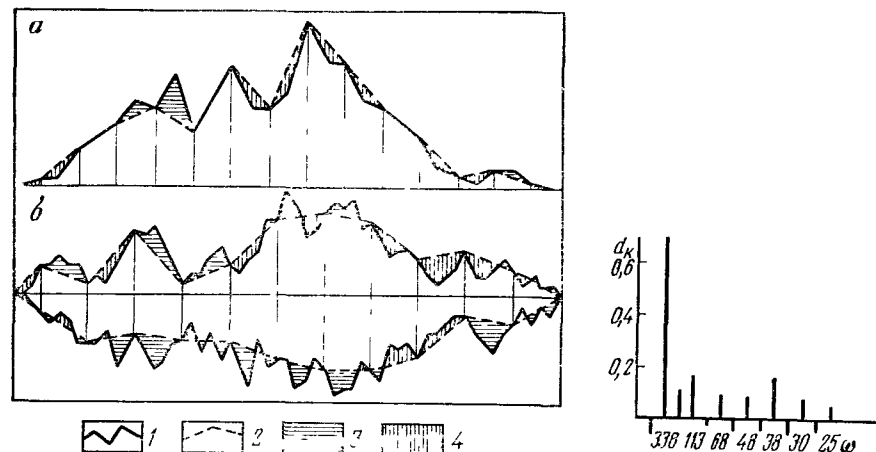


Рис. 31. Ошибки геометризации, возникающие при оконтуривании рудных залежей.

a — залежь, ограниченная снизу плоскостью, b — залежь, ограниченная с обеих сторон криволинейными поверхностями. 1 — истинный контур рудного тела; 2 — контур, построенный по данным разведки; 3 — рудная площадь, не вошедшая в разведочный контур; 4 — безрудная площадь, включенная в разведочный контур

Рис. 32. Линейчатый спектр дисперсии мощности рудного тела, ограниченного снизу плоскостью.

ω — периоды гармоник; d_k — доли дисперсии мощностей, приходящиеся на гармоники с данным периодом

Если принять для верхнего предела ошибки величину 100%, тогда погрешность геометризации δ будет равна

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{\sum |S'|}{S_{\text{ист}}}. \quad (5.16)$$

Погрешность геометризации залежей отражает степень изученности условий залегания, формы, строения и пространственного размещения полезных ископаемых и может рассматриваться в качестве важнейшего количественного критерия разведанности запасов. Она зависит от сложности истинного контура рудных образований и расстояний между разведочными пересечениями, но не зависит от количества пересечений. Для фиксированного расстояния между разведочными пересечениями при увеличении их числа ошибка геометризации, в отличие от ошибок средних параметров и цифр запасов, стремится не к нулю, а к некоторому среднему значению. Снижение ошибки геометризации возможно лишь при

уменьшении расстояний между разведочными выработками. При минимальных расстояниях она стремится к нулю, а при увеличении расстояний возрастает, достигая в пределе 100%.

Определение погрешностей геометризации производится графически путем измерения площадей на разрезах, выполненных в достаточно крупном масштабе. Для залежей со сплошным внутренним строением погрешности геометризации можно рассчитать и аналитическим путем, рассматривая истинный контур залежи как сложную периодическую функцию. Для этого используются линейчатые спектры дисперсий мощностей залежей, с помощью которых оцениваются доли высокочастотных гармоник, не выявляемых данной сетью наблюдений и обуславливающих несовпадение контуров [17]. На рис. 32 показан линейчатый спектр залежи, ограниченный с одной стороны плоскостью, а с другой — криволинейной поверхностью (см. рис. 31, а), рассчитанный через нормированную по дисперсии корреляционную функцию ее мощностей. Он показывает, как общая дисперсия мощности рудной залежи, равная в этом примере 125 м², распределена между отдельными гармониками. Так, на гармонику с периодом 338 м (общая длина исследуемого профиля) приходится 69% общей дисперсии, на гармонику с периодом 170 м — 10% и т. д.

В приведенном примере при шаге сети 25 м гармоники с меньшим периодом не выявляются (их доля в общей дисперсии составляет 4%).

Тогда

$$s^2 = \frac{4\% \cdot 125}{100} = 5 \text{ м}^2,$$

$$s = \sqrt{5} = 2,24 \text{ м},$$

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{s}{\bar{m}} = \frac{1}{2} \frac{2,24}{15,5} = 0,072, \quad (5.17)$$

где s — стандарт мощности, связанный с высокочастотными гармониками;

\bar{m} — средняя мощность залежи.

Ошибка δ в определении пространственного положения контура залежи при сети 25 м в среднем составляет 7,2%. Это означает, что в подсчетный контур, построенный при расстоянии между выработками 25 м, в среднем будет входить около 7,2% безрудных площадей и примерно такая же площадь кондиционных руд окажется за пределами подсчетного контура. При этом в разведочный контур попадает примерно 93% истинной рудной площади.

Аналитическое решение задачи для залежей, ограниченных криволинейными поверхностями сверху и снизу может достигаться разделением залежи на две половины (см. рис. 31, б). Для каждой из половин решение сводится к рассмотренному случаю, а общая ошибка геометризации рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{s_1 + s_2}{\bar{M}}, \quad (5.18)$$

где s_1, s_2 — стандартные отклонения мощностей, неулавливаемых сетью гармоник;

\bar{M} — средняя мощность залежи.

§ 5. Оценка оптимальности сети после завершения разведочных работ

Детальное изучение месторождения продолжается в процессе его эксплуатационной разведки. При проведении горно-подготовительных нарезных и очистных работ осваиваемые участки вскры-

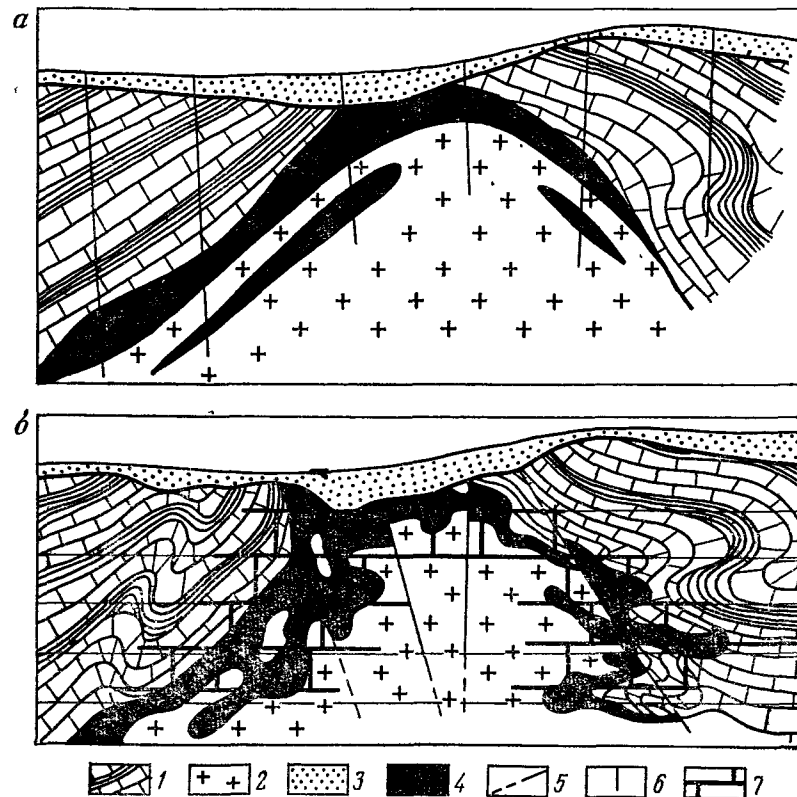


Рис 33 Сравнение геологических разрезов, составленных по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведок.

1 — толщина карбонатных пород, 2 — гранитоиды, 3 — рыхлые отложения, 4 — рудоносные скарны, 5 — тектонические нарушения, 6 — разведочные скважины, 7 — горные выработки

ваются предельно густой сетью разведочных пересечений. В этих условиях геологу впервые предоставляется возможность оценить оптимальность принятой ранее разведочной сети путем непосредственного сравнения разведочных данных с результатами, полученными в процессе эксплуатационных работ. Оценка оптимальности разведочной сети может быть выполнена:

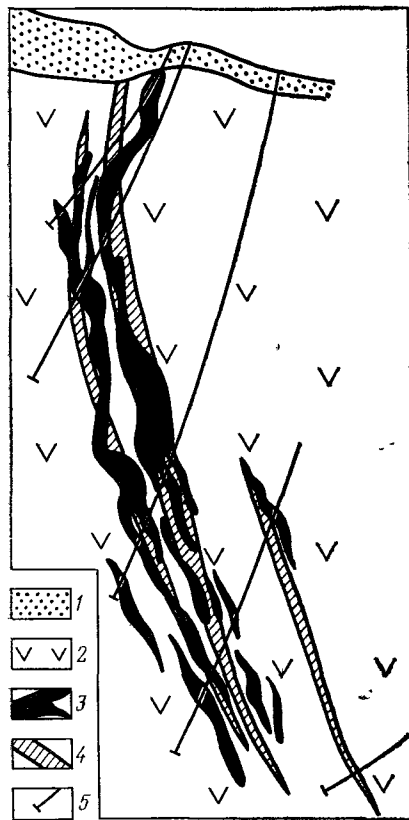
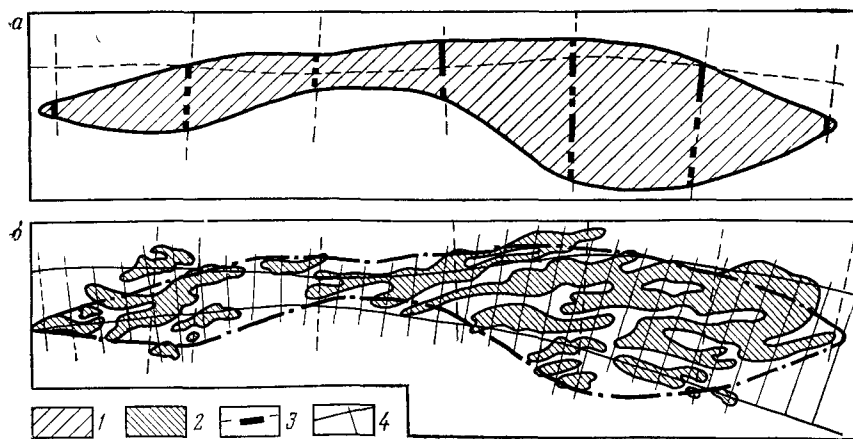


Рис 34. Сравнение контуров рудных залежей, построенных по данным детальной и эксплуатационной разведки полиметаллического месторождения (по А. И. Гольдфельду).

1 — рыхлые отложения, 2 — вмещающие породы, 3 — контуры рудных залежей по данным эксплуатационной разведки, 4 — контуры рудных залежей по данным детальной разведки, 5 — скважины детальной разведки

Рис 35. Представления о морфологии и внутреннем строении залежей по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведки

1 — контур залежи по данным детальной разведки, 2 — контуры залежи по данным эксплуатационной разведки, 3 — разведочные пересечения детальной разведки с рудными интервалами, 4 — разведочные пересечения эксплуатационной разведки



- сопоставлением результатов ранее проведенных разведочных работ с результатами эксплуатационной разведки;
- сравнением подсчета запасов с результатами эксплуатационных работ;

- методом экспериментального разрежения разведочной сети.

Сопоставление результатов ранее проведенных разведочных работ с результатами эксплуатационной разведки предусмотрено инструкциями ГКЗ СССР при переоценке и утверждении запасов минерального сырья на действующих горнорудных предприятиях. Без выполнения этого требования запасы не принимаются к рассмотрению и утверждению. Оценка оптимальности заключается в том, что геологические разрезы, геологоразведочные параметры и запасы продуктивных залежей, выявленные в результате разведочных работ, сопоставляются с более детальными разрезами и оценочными параметрами, полученными в тех же плоскостях по результатам эксплуатационной разведки. При этом сопоставляются:

- представления о геологическом строении участка месторождения (условия залегания и пространственное размещение рудоуправляющих структур, рис. 33);

- контуры продуктивных залежей с точки зрения выдержанности их форм, ориентировки и связи с рудоуправляющими геологическими элементами (рис. 34);

- представления о строении продуктивных залежей, полученные по ранее проведенным разведочным работам и выявленные по результатам эксплуатационной разведки (рис. 35);

- сортовые контуры, разделяющие участки полезного ископаемого различных технологических сортов и типов с оценкой надежности оконтуривания участков, сложенных минеральными скоплениями различного состава (рис. 36);

- средние значения важнейших геологоразведочных параметров, мощностей, содержаний, площадей, коэффициентов рудоносности, оценок линейных или площадных запасов, руд и полезных компонентов.

По результатам сопоставления оценивается степень подтверждения результатов ранее проведенных разведочных работ данными эксплуатационной разведки, а при их неподтверждении устанавливаются причины расхождений. В зависимости от результатов сопоставления и причин неподтверждения запасов разведочная сеть или методика разведочных работ подвергаются соответствующей корректировке.

Сравнение данных подсчета запасов с результатами эксплуатационных работ обеспечивает принципиальную оценку достоверности разведки, хотя строго говоря, эти данные не сопоставимы. По результатам геологоразведочных работ подсчитываются «геологические запасы», т. е. запасы в недрах без учета неизбежных потерь и разубоживания при их добыче. По данным же эксплуатационных работ определяются только извлеченные из недр «промышленные запасы», которые меньше геологических запасов на величину потерь и отличаются от них по качеству на величину раз-

убоживания. Для получения сопоставимых данных в процессе эксплуатации месторождения необходимо проводить экспериментальные работы и систематически определять фактические потери и разубоживание полезных ископаемых, что далеко не всегда выполняется с достаточной надежностью и полнотой. Поэтому при-

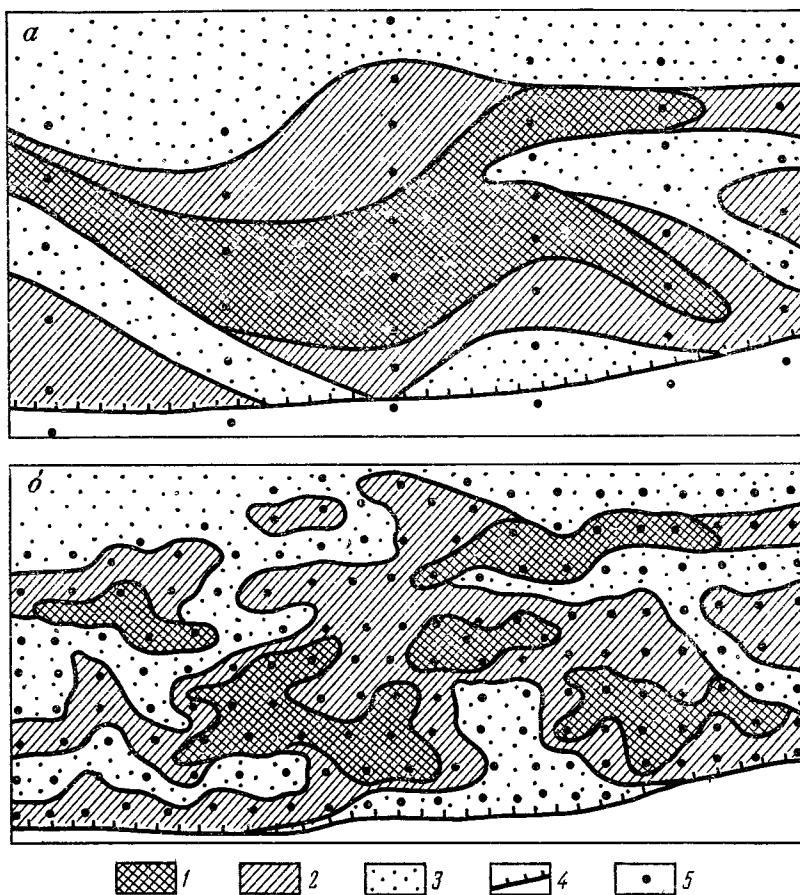


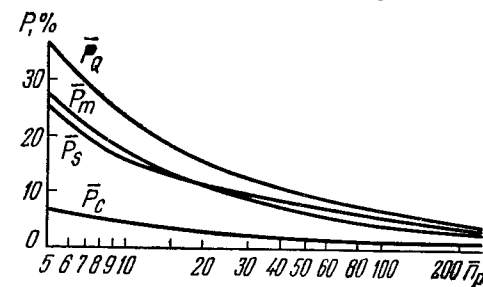
Рис. 36. Участок железорудного карьера, сложенный рудами различных технологических сортов по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведок.
1 — богатый магнетитовый скарн, 2 — бедный магнетитовый скарн, 3 — безрудный скарн; 4 — борт карьера, 5 — скважины

менительно к решению задачи оптимизации разведочной сети способ сравнения данных подсчета запасов с результатами эксплуатационных работ имеет вспомогательное значение. Однако такие сопоставления всегда следует проводить для получения дополнительных данных, контролирующих качество геологоразведочных работ, которые имеют своей конечной целью выявление запасов, обеспечивающих нормальную работу горного предприятия.

Экспериментальное разрежение разведочной сети — это самый надежный и одновременно самый трудоемкий метод ее оптимизации. В полноценном варианте он может быть проведен только по результатам эксплуатационной разведки, когда экспериментальный участок месторождения вскрывается предельной густой сетью разведочных пересечений.

Сущность метода заключается в сопоставлении геологических разрезов, контуров промышленной минерализации, средних значений подсчетных параметров, запасов полезного ископаемого и других характеристик, полученных по многочисленным вариантам наложения разведочных сетей различной геометрии с эталонными значениями тех же характеристик, за которые принимаются данные, полученные по исходной, предельно густой разведочной сети. С этой целью составляются схемы последовательного разрежения

Рис. 37. Кривые изменения относительных среднеарифметических погрешностей P (в %) определения средней мощности \bar{P}_m , среднего содержания никеля \bar{P}_c , площадей залежи \bar{P}_s и запасов никеля \bar{P}_Q в зависимости от числа разведочных рудных пересечений \bar{n}_p для месторождения силикатно-никелевых руд (по В. И. Бирюкову и др)



и определяется количество возможных вариантов смещения разведочной сети. При разрежении квадратной сети в 2 раза возникает 4 возможных варианта смещения сети, а при разрежении в 3 и 4 раза — соответственно 9 и 16 вариантов смещения сети. Если использовать различные масштабы разрежения по пересекающимся направлениям, применять не только квадратные, но и прямоугольные варианты разрежения сети, количество вариантов ее смещения увеличиваются еще больше. Практически количество рассматриваемых вариантов может колебаться от десятков до сотен и даже тысяч. Поэтому для вычисления средних значений геологоразведочных параметров, оценок линейных или площадных запасов и различных коэффициентов по рассматриваемым вариантам применяются ЭВМ, а сопоставление геологических разрезов и контуров промышленной минерализации проводится выборочно по ограниченному числу вариантов.

Корректировка разведочной сети по результатам сопоставления эталонных геологических разрезов, отражающих представления о морфологии, составе и строении залежей полезных ископаемых с разрезами, составленными по вариантам разрежения сети производится по той же методике, как и при сопоставлении результатов допроектной и эксплуатационной разведок.

Для суждения о погрешностях оценок средних значений геологоразведочных параметров запасов и других свойств полезных ископаемых составляются графики, характеризующие изменения

этих погрешностей в зависимости от числа разведочных пересечений (рис. 37).

Задавая погрешностью оценки геологоразведочного параметра, с помощью аналогичных графиков устанавливается оптимальное количество разведочных пересечений, обеспечивающее заданную точность. Оптимальная плотность разведочной сети рассчитывается как частное от деления всей разведываемой площади на оптимальное число разведочных пересечений, а расстояния между разведочными пересечениями вычисляются для изометрической сети.

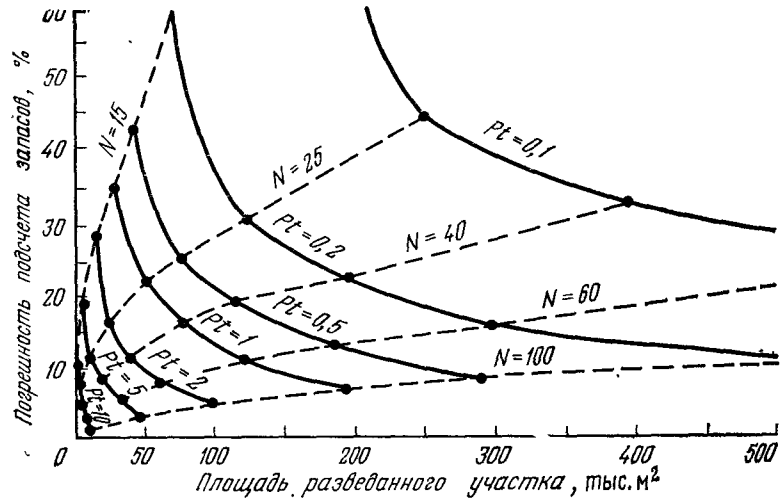


Рис. 38. Сводный график зависимости вероятных погрешностей подсчета запасов колчеданного полиметаллического месторождения (по А. И. Гольдфельду).

Pt — плотность разведочной сети — количество разведочных пересечений N на 1 тыс. m^2 ($Pt=0,1$ соответствует сети 100×100 м; $Pt=10$ — сети 10×10 м)

В дальнейшем квадратная сеть может быть изменена в равновеликую прямоугольную по геолого-морфологическим соображениям. Но при таком подходе к обработке результатов не учитывается, что кроме количества наблюдений на погрешность оценок геологоразведочных параметров не меньшее влияние оказывает густота разведочной сети, особенно при небольших размерах ее ячеек.

На рис. 38 приводится сводный график зависимости вероятных погрешностей подсчета запасов, составленный А. И. Гольдфельдом по данным изучения колчеданного полиметаллического месторождения. Из графика видно, что при густоте сети порядка 14×14 м погрешности подсчета запасов изменяются от $\pm 5\%$ при количестве наблюдений $N = 100$ до $\pm 15\%$ при $N = 15$; а при густоте сети 70×70 м они составляют при $N = 100$ около $\pm 10\%$, при $N = 15$ — примерно $\pm 60\%$. Влияние количества разведочных пересечений сказывается на погрешностях подсчета запасов более отчетливо: при $N = 15$ они изменяются для разной геометрии сети от 5 до 60%, а при $N = 100$ — только в интервале 5—10%. Поэтому при обработке экспериментальных результатов разрежения сети необходимо

выявлять зависимости изменения погрешностей оценок запасов и средних значений геологоразведочных параметров как от числа наблюдений, так и от густоты разведочной сети.

При использовании метода разрежения сети нельзя делать практические выводы по единичным вариантам и тем более только по одному варианту разрежения. На рис. 39 приведен график, характеризующий разброс погрешностей подсчета запасов по одному

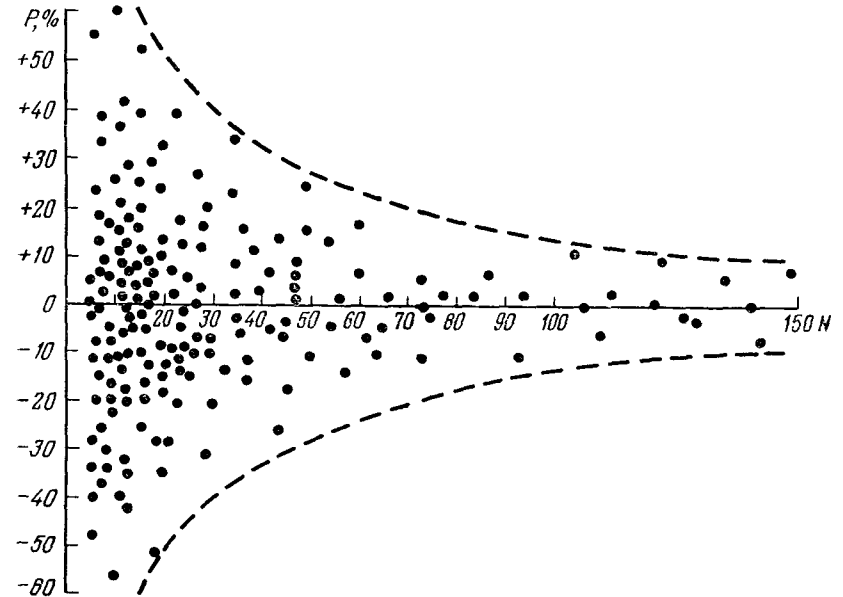


Рис. 39. Погрешности оценки запасов рудного месторождения P (в %) при разном количестве разведочных пересечений N (по В. А. Петрову)

из месторождений при разном числе разведочных пересечений. Каждая точка графика отражает погрешности оценок запасов по одному случайному варианту разрежения, а разведчик интересуется средней погрешностью, оценить которую можно только по всей совокупности вариантов.

Методом экспериментального разрежения сети могут быть оценены и погрешности геометризации контуров залежей полезных ископаемых. Оценки погрешностей геометризации сводятся к построениям контуров залежей в многочисленных вариантах разрежения исходной, предельно густой сети и сравнения их с контурами, принимаемыми за истинные.

Глава VI

Опробование

Опробование полезных ископаемых — важнейшая операция геологоразведочных работ и единственный научно обоснованный способ выявления качества полезных ископаемых: их минерального и

химического состава, технологических свойств, зональности и внутреннего строения. По данным опробования выделяются и оконтуриваются природные и технологические типы минерального сырья в недрах, изучаются физические свойства и инженерно-технические характеристики полезных ископаемых и вмещающих пород. При отсутствии естественных контактов полезных ископаемых с вмещающими породами результаты опробования используются для оконтуривания их промышленно-ценных скоплений, выявления морфологических особенностей и внутреннего строения залежей.

В зависимости от целевого назначения различают:

- рядовое, технологическое и техническое опробование полезных ископаемых в недрах;
- товарное и другие виды опробования минеральных масс в рыхлом, перемешанном состоянии.

Рядовому опробованию подвергаются все разведочные выработки и скважины. Оно является основным видом опробования и проводится в массовом масштабе для систематического определения качества полезного ископаемого и оконтуривания промышленно-ценных участков, когда они не обладают четкими геологическими границами. В отбираемых рядовых пробах определяются содержания полезных компонентов и вредных примесей или полезных минералов. В первом случае рядовое опробование называется химическим, а во втором случае — минералогическим.

Минералогические методы опробования являются ведущими при разведке россыпей, а также при разведке коренных месторождений, если полезные элементы содержатся в одном минерале, а его химический состав отличается постоянством.

Разновидностью рядового опробования можно считать геохимическое опробование, которое проводится для изучения ореолов полезных элементов и элементов-индикаторов вокруг промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых в недрах.

Техническое опробование проводится для изучения различных физических и технических свойств полезных ископаемых — объемных масс, влажности, разрыхляемости, крепости, буримости, кусковатости и др. При разведке некоторых видов полезных ископаемых (главным образом полезных минералов и строительных материалов) техническое опробование проводится в массовом масштабе для оценки свойств минерального сырья, определяющих его промышленную ценность (качество и размеры кристаллов слюды, длина и прочность асбестового волокна, полируемость строительных камней и др.).

Технологическое опробование проводится для изучения технологических свойств полезного ископаемого в лабораторных, полупромышленных и в производственных условиях. Лабораторные технологические пробы отбираются для выяснения возможных способов и принципиальных схем технологической переработки полезного ископаемого. Испытанием полупромышленных проб уточняются выявленные технологические свойства и выбирается наиболее эффективная схема переработки минерального сырья, обеспечи-

вающая оптимальные технико-экономические показатели технологического процесса. Испытание технологических проб в производственных условиях проводится для проверки и уточнения технологических схем и важнейших технико-экономических показателей.

Товарное опробование проводится для определения качества добытых масс полезного ископаемого и продуктов его переработки (концентратов) в вагонах, автомашинах, трюмах судов и др. Опробование добытых и перемешанных минеральных масс для определения их качества проводится также на разных этапах процесса разведки и эксплуатации месторождения — в вагонетках и бункерах, отвалах горных работ, в хвостах обогатительных фабрик, в продуктах дробления и обогащения полезных ископаемых.

Пробой называется порция материала, отобранная механическим способом из скопления полезного ископаемого в его естественном залегании или из скопления добытого минерального сырья, предназначенная для проведения тех или иных испытаний. Характер испытаний зависит от целевого назначения проб. Иногда это определение многочисленных и разнообразных свойств минерального сырья (например технологические испытания проб), но чаще определение одного или нескольких специфических свойств (например анализы проб на содержание полезных компонентов). В последнее время с расширением возможностей геофизических методов механический отбор проб все чаще заменяется определением свойств полезного ископаемого непосредственно в естественном залегании. В связи с этим понятие пробы отождествляется с проведением замера изучаемого свойства полезного ископаемого в массиве. Проба, отобранная механическим способом или с помощью геофизического замера, представляет собой единичное локальное наблюдение изучаемого свойства полезного ископаемого в некотором объеме. Как единичное наблюдение она обладает областью воздействия, которая определяется геометрией пробы, т. е. ее объемом, формой, размерами и ориентировкой.

Специфической особенностью опробования является несоизмеримость объемов отдельных проб с объемами опробуемых масс. Значение изучаемого свойства по единичной пробе, как правило, не соответствует среднему его значению во всем опробуемом объеме. Оно вычисляется по совокупности достаточно большого количества единичных проб с учетом их геометрии, геометрии разведочной сети и опробуемых объемов недр.

Наиболее распространенным геологоразведочным параметром, устанавливаемым с помощью опробования, является содержание полезных компонентов или вредных примесей в залежах, отбитых и перемешанных минеральных массах. Поэтому основные положения методики опробования рассматриваются применительно к оценкам содержаний. В равной степени это относится и к другим геологоразведочным параметрам, характеризующим особенности внутреннего строения полезных ископаемых.

§ 1. Способы отбора проб в разведочных горных выработках

В зависимости от целевого назначения опробования из разведочных горных выработок отбираются линейные, объемные, реже площадные или точечные пробы. Линейные пробы обеспечивают сплошное опробование разведочного пересечения и практически любую детальность изучения текстуры полезного ископаемого. Объемные (реже площадные) пробы отбираются для контроля линейных проб, изучения технологических и технических свойств и для рядового опробования специфических видов минерального сырья. Точечные пробы используются для изучения некоторых свойств полезных ископаемых или вмещающих пород и значительно реже — для рядового опробования.

Линейные пробы отбираются бороздовым, пленочным или шпуровым способами.

Бороздовый способ пользуется наибольшим распространением и является практически универсальным. Он состоит в том, что вдоль обнаженной поверхности полезного ископаемого по заранее намеченной линии вырубается или вырезается борозда прямоугольного сечения. Отбор бороздовых проб может производиться вручную с помощью зубила или молотка или механизированными способами. Обязательным условием качественного пробоотбора является полный сбор отбитого материала и выдержанность поперечных сечений борозд на всем протяжении. Перед взятием бороздовой пробы обнаженная поверхность выравнивается и обмывается водой.

Ручной способ пробоотбора с помощью зубила и молотка характеризуется низкой производительностью и невыдержанностью поперечных сечений борозд. Механические способы пробоотбора с применением перфораторов и отбойных молотков также не обеспечивают выдержанных сечений борозд и полного сбора отбитого материала. Наиболее совершенный способ отбора бороздовых проб обеспечивается с помощью пробоотборников режущего действия конструкции ЦНИГРИ—ПЭР-1 с электропроводом и ППР-2 с пневматическим приводом. Они состоят из двух параллельных мелкоалмазных дисков, позволяющих отбирать глубоковрезанные «щелевые» пробы. При вырезании щелевых борозд шириной 3 мм и глубиной 5 мм обеспечиваются ровные поверхности стенок и сводится до минимума возможное избирательное выкрашивание минералов.

Бороздовые пробы должны ориентироваться в направлении максимальной изменчивости свойств полезных ископаемых, которая часто совпадает с мощностью залежей. Однако строгое соблюдение этого требования осложняет операцию пробоотбора. В практике разведочных работ крутопадающие залежи обычно опробуются горизонтальными бороздами, а пологопадающие — вертикальными. При опробовании поверхностных горных выработок бороздовые пробы отбираются: в канавах — по дну, в шур-

фах — по одной или двум стенкам. В кваршлагах, ортах, гезенках и восстающих опробуются одна или обе противоположные стенки, в штреках — кровля или забой. Борозды отбираются всегда на одной и той же заранее заданной высоте (примерно на 1—1,2 м от почвы выработки). Каждая проба отбирается полностью на всю мощность залежи, от ее висячего до лежащего бока, и представляет собой «сквозную» бороздовую пробу. Чтобы убедиться в отсутствии промышленной минерализации, в висячем и лежащем боках залежи на продолжении «сквозной» борозды отбираются контрольные пробы.

Если отдельные участки сквозной борозды отбираются и изучаются самостоятельно, то они называются секционными, или интервальными пробами. Границы секционных проб устанавливаются по совокупности геолого-физических данных, поэтому их длина, как правило, различна. При интервальном опробовании все частные пробы имеют одинаковую длину, которая устанавливается заранее.

Пленочные пробы отличаются от бороздовых проб предельно малой глубиной отбойки. Идея и разработка методики пленочного опробования принадлежит Д. А. Зенкову. Пленочные пробы отбираются по заранее намеченной линии с помощью многозубкового молотка, что способствует выдержанности поперечных сечений борозд, снижает вероятность избирательного выкрашивания минералов и обеспечивает одновременно высокую достоверность опробования. Производительность пленочного опробования в 3—4 раза выше бороздового.

Шпуровое опробование заключается в сборе буровой пыли в процессе бурения специальных или отбойных шпуров. Для улавливания материалов проб применяются патрубки (или тройники) и пылеулавливатели, обеспечивающие сбор от 70 до 95% буровой пыли. При однородном составе пробы потери пыли не оказывают влияния на достоверность результатов анализа проб, но при заметных различиях в твердости и крупности рудных и породообразующих минералов потери становятся избирательными и приводят к появлению систематических погрешностей пробоотбора. Бурение шпуров производится обычными или колонковыми перфораторами.

Бороздовый способ отбора рядовых проб является главным на стадиях предварительной и детальной разведок. Пленочный и шпуровый способы находят широкое применение в условиях эксплутационной разведки.

Объемные пробы отбираются валовым способом, а для отбора площадных проб используется задииковый способ.

При валовом способе в пробу отбирается вся масса полезного ископаемого, отбитая с заданного интервала в процессе проходки горной выработки. Массы валовых проб зависят от их назначения. Для рядового опробования специфических видов минерального сырья (главным образом полезных минералов) контрольные и лабораторные технологические пробы отбираются мас-

сой в сотни килограммов — первые тонны. При отборе полупромышленных и фабричных технологических проб массы проб достигают десятков, сотен и даже тысяч тонн. Если масса отбитого полезного ископаемого заведомо превышает необходимую массу валовой пробы, она сокращается путем отбора в пробу каждой *n*-ой лопаты, бады или вагонетки.

Валовое опробование обеспечивает максимальную достоверность результатов испытаний проб и их наиболее высокую представительность, однако отличается низкой производительностью, высокой себестоимостью и сложностью пробоотбора, если разведочной выработкой вскрывается не только полезное ископаемое, но и вмещающие породы.

При задиrkовом способе со всей обнаженной поверхности полезного ископаемого отбивается (задирается) ровный слой, который поступает в пробу. Отбойка задиrkовых проб производится вручную и представляет собой весьма трудоемкий процесс. Задиrkовым способом пользуются в исключительных случаях, главным образом при разведке весьма тонких жил с крайне неравномерным размещением полезных минералов.

Точечные пробы отбираются штупным, точечным, горстьевым способами и способом «пунктирной борозды».

Штупной способ заключается в отбойке отдельных монолитных кусков (штупов) полезного ископаемого или вмещающих пород массой 1—2 кг. Этот простейший и весьма оперативный способ пробоотбора широко используется при изучении важнейших технических, физических и химических свойств полезных ископаемых — объемных масс, влажности, пористости, магнитной восприимчивости, содержания порообразующих окислов и др., если пространственная изменчивость изучаемого свойства невелика.

При точечном способе проба составляется из небольших кусочков полезного ископаемого, отбитых с заданного участка обнаженной поверхности горной выработки. Точки отбора элементарных проб располагаются на опробуемой поверхности в строго определенном порядке, например, в узлах квадратной или прямоугольной сети. Элементарные пробы отбиваются зубилом и молотком или выбуриваются с помощью механических пробоотборников. Общая масса пробы достигает нескольких килограммов.

Горстьевой способ (или способ вычерпывания) отличается от точечного способа тем, что элементарные пробы отбираются не из обнаженных стенок горных выработок, а из отбитой массы полезного ископаемого, наваленной у забоя после отпалки. Элементарные пробы отбираются по сетке непосредственно с поверхности навала, либо «вычерпываются» из лунок для предупреждения систематических погрешностей, связанных с избирательными потерями обогащенной рудной мелочи.

Способ «пунктирной борозды», применявшийся при опробовании уральских колчеданных месторождений и описанный во многих руководствах, заключается в том, что по направлению максимальной изменчивости залежи отбивается не сплошная, а

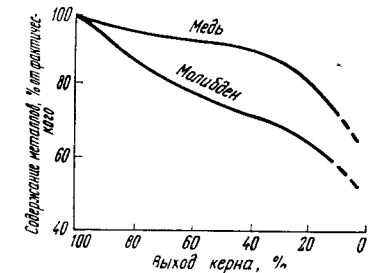
прерывистая борозда. Этот способ обеспечивает достоверные результаты опробования только в условиях практически равномерного размещения полезных минералов и при выдержанных физико-механических свойствах руд.

Главный недостаток всех точечных методов пробоотбора заключается в том, что разведочные пересечения опробуются не сплошь, а только выборочно в отдельных точках. Несмотря на более высокую производительность и низкую себестоимость точечные методы не следует применять для отбора рядовых проб, особенно на допроектных стадиях геологоразведочных работ. Каждое разведочное пересечение является единственным направлением сплошного вскрытия полезного ископаемого и поэтому должно быть подвинуто сплошному опробованию.

§ 2. Способы отбора проб в разведочных скважинах

При бурении колонковых скважин материалом пробы служит керн, а при низком выходе керна — керн и шлам. Полнота выхода керна зависит от физико-механических свойств полезных ископаемых, режима и техники бурения. Выход керна оценивается линейным способом как отношение длины керна к длине пробуренного интервала и весовым способом как отношение фактической массы поднятого керна к расчетной его массе для пробуренного интервала.

Рис. 40. Изменение средних содержания меди и молибдена в зависимости от линейного выхода керна по данным Алмалыкской ГРЭ)



Выход керна колеблется в широком интервале. В соответствии с действующими инструкциями удовлетворительным считается линейный выход керна выше 70%. Однако в настоящее время в связи с переходом на алмазное и твердосплавное бурение требования к полноте выхода керна должны быть существенно повышены. При разведке многих месторождений даже незначительные потери керна связаны с избирательным истиранием хрупких полезных минералов — киновари, флюорита, вольфрамиты, молибденита и др. (рис. 40). Повышение выхода керна достигается применением более совершенных технических средств: двойных колонковых труб с вращающейся наружной и неподвижной внутренней трубой, тройных колонковых труб с разъемной внутренней гильзой, съемных керноприемников различных конструкций, а также оптимиза-

цией режима бурения. По данным Центрально-Казахстанского ГУ, применение совершенных технических средств колонкового бурения и съемных керноприемников (комплекса ССК-59) обеспечило возможность бурения без подъема снаряда, повышение выхода керна с 78 до 100%, снижение расхода алмазов с 0,67 до 0,2 карата/м и повышение скорости бурения примерно в два раза. Анализ мирового опыта алмазного и твердосплавного бурения **показывает, что при правильном использовании современного оборудования и инструмента выход керна практически не зависит от диаметра скважины.** Так, например, применение двойных колонковых труб со съемным керноприемником при алмазном бурении сильно дробленых и трещиноватых гранитов Корнуола, пронизанных густой сетью кварц-оловоносных прожилков, позволило получить столбики керна длиной 1,5—2 м с диаметром 23,8—33,3 мм при линейном выходе керна 92—98%.

Для отбора пробы керн раскалывают по его длинной оси вручную или с помощью гидравлического кернокола. Одна половина (или четверть) керна идет в пробу, а другая — хранится в качестве дубликата. Более совершенный способ отбора керновой пробы — распиливание керна или вырезание из него продольной борозды небольшого сечения. Для распиливания керна с помощью дисковых алмазных пил сконструированы специальные камнерезные станки (станок УКС-2 конструкции СГИ, многодисковый станок конструкции А. А. Боровских и др.). При отборе пробы вдоль продольной оси керна срезается сегмент толщиной 10—15 см, который подлежит хранению, материал распила (мука) используется в качестве рядовой пробы и направляется на анализ, а оставшаяся часть керна идет для изготовления шлифов и может служить материалом для технических и технологических проб.

Отбор малогабаритных бороздовых, в частности геохимических проб, ориентированных вдоль длинной оси керна, производится методом фрезерования с помощью станка конструкции М. Н. Альбова и В. Л. Чебышева. Станок обеспечивает выпиливание борозды шириной от 3,5 до 8 мм и глубиной до 12 мм, представительностью которой практически эквивалентна представительности керновой пробы.

При низком выходе керна, а также когда есть основание предполагать возможность избирательного его истирания, помимо керновых проб дополнительно собирается буровой шлам и мути. Пробы шлама и мути берутся с тех же интервалов скважины, с которых отбираются керновые пробы. Шлам отбирается непосредственно из шламовой трубы и дополнительно (вместе с мутью) — у устья скважины. Проба шлама и мути является объединенной из материала, собранного с опробуемого интервала в шламовой трубе и у устья скважины.

Вопрос о наличии или отсутствии избирательного истирания решается сопоставлением результатов анализов сопряженных керновых и шламовых проб. При наличии избирательного истирания содержания компонентов по керновым и шламовым пробам си-

стематически расходятся, а при его отсутствии — оказываются близкими. Результаты анализов шлама и мути нельзя использовать для определения средних содержаний полезных компонентов, вследствие их низкой достоверности. Часть шлама и мути неизбежно теряется, некоторые сульфиды и благородные металлы флотируются промывочным раствором и уходят в свободный слив (или попадают обратно в скважину) шлам засоряется и разубоживается материалом вмещающих пород, а вынос бурового шлама запаздывает по сравнению с продвижением забоя скважины. При наличии избирательного истирания керна необходимо совершенствовать методику пробоотбора, используя все существующие технические средства и добиваться максимально высокого выхода керна.

Опробование стенок скважин возможно и после извлечения керна с помощью специальных пробоотборников и стреляющих грунтоносов различных систем, однако достоверность результатов при этом, как правило, невысокая.

При бескерновом, ударно-канатном и роторном бурении пробой служит буровой шлам, поднимаемый из скважины с пробуренного интервала. В зависимости от диаметра скважин массы проб с 1 пог. м бурения могут изменяться от десятков до сотен килограммов. Материал пробы, представляющий собой жидкую буровую грязь, поднимается из скважины желонкой и сливается в приемный железный бак. Небольшая крупность частиц и хорошая перемешанность буровой гвн и позволяет сокращать массы отбираемых проб до нескольких килограммов с опробуемого интервала. Сокращение проб производится специальными делителями или вычерпыванием непосредственно из бака с помощью пробоотборников.

При бурении станками с погруженными пневмоударниками (типа БА-100-М), когда очистка скважины производится воздушно-водяной смесью под давлением до $8 \cdot 10^5$ Па, опробование может производиться специальными шламоуловителями конструкции М. Н. Альбова и Н. В. Стукова [4].

При ручном или механическом ударно-вращательном бурении пробы отбираются из скважин с помощью желонки, ложек или змеевиков. Для получения более или менее достоверных результатов при опробовании рыхлых, неустойчивых и обводненных полезных ископаемых, в частности россыпей, необходимо, чтобы продвижение обсадных труб опережало продвижение забоя скважины. Бурение в этих случаях осуществляется желонками, а пробой с пробуренного интервала служит поднятая буровая грязь. При опробовании сыпучих, но не обводненных полезных ископаемых в качестве буровых наконечников используются ложки с помощью которых материал пробы поднимается из скважины. Для отбора качественных проб обсадные трубы должны продвигаться непосредственно за продвижением бурового наконечника.

Опробование мягких и пластичных полезных ископаемых осуществляется с помощью змеевика или грунтоносов различных систем.

§ 3. Факторы, определяющие выбор способа отбора проб и важнейшие параметры пробоотбора

Выбор способа отбора проб зависит от задач опробования, особенностей строения тел полезных ископаемых и физико-механических свойств полезных минералов и вмещающих пород. Во всех случаях он должен обеспечивать надежность результатов опробования и оперативность пробоотбора. Для рядового опробования этим условиям отвечают линейные способы пробоотбора. Они являются практически универсальными и пользуются наиболее широким распространением при рядовом опробовании горных выработок. Ведущим способом пробоотбора в горных выработках является бороздовый, а при опробовании скважин колонкового бурения отбираются керновые пробы.

Для изучения простейших технических свойств пород и полезных ископаемых часто отбираются штучные пробы, а для контроля процесса рядового опробования и изучения технологических свойств — валовые пробы. К отбору валовых проб иногда прибегают и в процессе рядового опробования полезных ископаемых с крайне неравномерным, прерывистым строением или в случаях резких различий физических свойств полезных и жильных минералов (вмещающих пород).

Главными параметрами пробоотбора являются:

- геометрия проб — их поперечные сечения, длины интервалов (или секций), а в некоторых случаях — массы исходных проб;
- расстояния между пробами (шаг опробования);
- оптимальное число проб на оцениваемый объем недр.

На выбор поперечных сечений проб определяющее влияние оказывают физические свойства полезных и жильных минералов (или вмещающих пород), текстурные и структурные особенности полезных ископаемых, определяющие способность полезных минералов к избирательному выкрашиванию или истиранию. Длины интервалов (или секций) и расстояния между пробами зависят от морфологических особенностей и внутреннего строения тел полезных ископаемых и установленных кондициями требований к детальности их изучения.

Оптимальное число проб в пределах оцениваемых блоков и массы проб определяются в зависимости от изменчивости содержаний и закономерностей пространственного размещения полезных компонентов в контурах промышленной минерализации.

При условии технически совершенных способов отбора проб поперечные сечения борозд и керновых проб не оказывают заметного влияния на достоверность результатов опробования. Это подтверждается расчетами их линейных эквивалентов и многочисленными экспериментальными данными. Благоприятные физические свойства и текстурно-структурные особенности полезных ископаемых, исключая возможность избирательного выкрашивания полезных минералов, позволяют применять минимальные поперечные сечения борозд, обеспечивающие возможность уверенного про-

ведения всех аналитических работ и гарантирующие сохранение достаточных по весу дубликатов.

При заметных различиях физико-механических свойств полезных, породообразующих и жильных минералов в процессе механического отбора проб проявляется отчетливая склонность к избирательному выкрашиванию наиболее хрупких из них. Попадая в пробу, они обогащают (или разубоживают) ее, что приводит к систематическим погрешностям опробования. Чем несовершеннее способ механического отбора проб, тем сильнее проявляется склонность к избирательному выкрашиванию и больше систематическая погрешность опробования. Для предупреждения этого нежелательного явления необходимо применять наиболее технически совершенные способы пробоотбора, например, пробоотборники ПЭР-1 или ППР-2. Для технически несовершенных способов пробоотбора величина систематической погрешности опробования может быть уменьшена за счет увеличения поперечного сечения борозды, так как увеличение объема пробы происходит при этом быстрее прироста площади обнаженной поверхности борозды, с которой происходит избирательное выкрашивание полезных минералов. Так, например, при увеличении поперечного сечения борозды от 5×2 до 10×5 см, объем пробы увеличивается в 5 раз, а обнаженная площадь борозды только в 2,5 раза. Соответственно систематическая погрешность, связанная с избирательным выкрашиванием полезного минерала уменьшается примерно в 2,5 раза. Вопрос о выборе поперечного сечения борозд при технически несовершенных способах пробоотбора и неблагоприятных физико-механических свойствах полезных ископаемых и породообразующих минералов должен решаться на каждом конкретном месторождении только экспериментальным путем. Аналитических способов расчета оптимальных поперечных сечений бороздовых проб в условиях возможного избирательного выкрашивания полезных минералов не существует.

При колонковом бурении полезных ископаемых, неблагоприятных по физико-механическим свойствам полезных и породообразующих (жильных) минералов, проявляется тенденция к избирательному истиранию керна. Систематическая погрешность опробования, связанная с избирательным истиранием керна может быть заметно снижена путем увеличения диаметра скважины. Однако даже относительно высокий линейный выход керна не гарантирует полного исключения систематических погрешностей опробования, так как разрывы и торцевое истирание керна нередко происходит избирательно по жилкам или гнездам хрупких полезных минералов. Поэтому при проектировании колонкового бурения в полезных ископаемых, склонных к избирательному истиранию, следует ориентироваться на более совершенные технические средства: алмазные и твердосплавные коронки, двойные и тройные колонковые трубы, съёмные керноприемники типа ССК-59 и КССК-76 и др., обеспечивающие полноценный выход керна в любых природных условиях.

От длин частных интервалов (или секций) бороздовых и керновых проб зависит детальность оконтуривания и изучения строения залежей полезных ископаемых, особенно, если элементы структурной неоднородности не могут быть выявлены макроскопически. Детальность изучения определяется условиями к оконтуриванию и подсчету запасов месторождения — рабочими мощностями и максимально допустимыми мощностями участков пустых пород, включаемых в контуры промышленной минерализации на разубоживание. Очевидно, что длины отдельных интервалов опробования не должны превышать этих установленных условиями предельных размеров. Выделение более мелких интервалов позволяет изучить детали внутреннего строения полезного ископаемого, но часто нерационально с экономической точки зрения. Только при использовании ядерно-геофизических методов опробования появляются реальные возможности оценки интервалов линейных проб длиной 0,1—0,2 м. В практике разведки полезных ископаемых, длины секций и интервалов бороздовых и керновых проб изменяются от 0,5 до 5 и более метров.

Массы проб устанавливаются обычно как функции их геометрических форм и размеров. Только при опробовании особо ценных видов полезных ископаемых (алмаза, золота и др.), содержания которых измеряются миллионными (и менее) долями весовых процентов, появляется необходимость самостоятельного расчета критических масс (объемов) проб.

Необходимость выбора шага опробования возникает только при разведке полезных ископаемых системами продольных разрезов (в остальных случаях расстояния между сквозными пробами определяются плотностью разведочной сети, а по разведочным пересечениям опробование осуществляется сплошными линейными пробами). Часто расстояния между пробами предварительно определяются принятым оптимальным количеством проб на оцениваемый объем недр и зависят от длин разведочных выработок (штреков и восстающих), т. е. от размеров подсчетных блоков. При сложном строении жил полезных ископаемых, чередовании рудных столбов, скопленений неправильной формы и разделяющих их пережимов выбор шага опробования зависит от желаемой детальности их оконтуривания.

Оптимальное число проб на оцениваемый объем недр определяется статистической обработкой экспериментальных данных. Для этого предварительно должны быть установлены предельно допустимые погрешности оценки средних содержаний и заданы доверительные вероятности этих оценок. Примерный расчет оптимального числа проб производится по формуле:

$$n = \left(\frac{tV}{p} \right)^2, \quad (6.1)$$

где n — оптимальное число проб на оцениваемый объем недр, обеспечивающее погрешность оценки среднего содержания

не более $\pm p$ при доверительной вероятности, определяемой коэффициентом t ;

V — выборочная оценка коэффициента вариации содержаний по данным опробования типичного блока или нескольких блоков данного месторождения.

При наличии отчетливых автокорреляционных связей между значениями содержаний в смежных пробах в оценку коэффициента желательнее внести поправку за связь. Для этого коэффициент вариации рассчитывается по дисперсии случайной составляющей изменчивости содержаний.

Оценка коэффициента V , вычисленная по конкретным геолого-разведочным данным, характеризует не «истинную», а наблюдаемую изменчивость содержаний в экспериментальном блоке. Поэтому использование величины V правомерно только для той же плотности разведочной сети, проб той же геометрии и в пределах равновеликих объемов недр. Поскольку перечисленные условия выполняются лишь приблизительно, то и оценка оптимального числа проб является примерной.

При использовании данных рядового опробования только для оценок средних содержаний полезных и вредных компонентов в заданных объемах недр для пробоотбора достаточно установить только два главных параметра: оптимальное число частных проб и их поперечные сечения. Если же данные опробования предназначаются и для оконтуривания продуктивных залежей, то кроме этого необходимо обосновать длины интервалов (секций), отбираемых по сквозным линейным прогам для их самостоятельного изучения, а при разведке системой продольных разрезов — оптимальные расстояния между смежными пробами.

Групповые пробы для анализов на сопутствующие полезные компоненты и на содержания вредных примесей составляются из навесок рядовых проб (или их дубликатов), отобранных по разведочным пересечениям. Навески отбираются пропорционально длинам борозд или интервалов керновых проб. Групповые пробы отбираются отдельно по каждому природному типу и сорту полезного ископаемого. В зависимости от ценности сопутствующего компонента каждая групповая проба может объединять навески проб по одному или нескольким смежным разведочным пересечениям, одному или нескольким разведочным разрезам.

§ 4. Ядерно-геофизические методы опробования

Новые и весьма эффективные способы опробования разрабатываются на основе ядерно-геофизических методов изучения состава и свойств полезных ископаемых. Этими методами определяется вещественный состав, плотность, влажность, пористость и другие важнейшие свойства полезных ископаемых и вмещающих пород.

Ядерно-геофизические методы опробования основаны на использовании естественных и искусственных радиоактивных элементов.

На изучении естественной радиоактивности основаны радиометрические методы опробования руд по интенсивности и спектральному составу гамма-излучения. Они являются основными методами опробования горных выработок и скважин при разведке урановых, ториевых месторождений и месторождений калийных солей. Методы изучения естественной радиоактивности исторически предшествовали появлению собственно ядерно-геофизических методов. Поэтому они разработаны более детально и хорошо освоены геологоразведочной практикой в каротажном и подземном вариантах.

Методы, основанные на использовании искусственных источников ионизации, получили широкое развитие последние 10—15 лет. В настоящее время создано несколько десятков собственно ядерно-геофизических методов изучения полезных ископаемых и горных пород, однако для опробования применяются пока что только некоторые из них [6]. Ядерно-геофизические методы опробования разделяются на две группы: гамма — методы, основанные на использовании искусственных источников гамма-излучения и регистрации наведенных гамма-полей и нейтронные методы регистрирующие поля нейтронов или связанные с ними гамма-излучения.

Опробование скважин осуществляется методами количественного ядерно-геофизического каротажа, а опробование стенок горных выработок — путем линейных измерений наведенных гамма-или нейтронных полей. При проведении количественного ядерно-геофизического каротажа, в скважину опускается зонд, на котором смонтированы генератор гамма-излучения или нейтронов и регистрирующее устройство, отделенное от него экраном. В качестве генераторов гамма-излучения используются радиоактивные изотопы различных элементов Co^{60} , Cs^{137} , Sn^{119} , Se^{75} , Tm^{170} и других, а в качестве генераторов нейтронов — плутоний-бериллиевые, полоний-бериллиевые, полоний-борные и другие изотопные источники или ускорители заряженных частиц. В качестве детекторов применяются газоразрядные, сцинтилляционные, нейтронные и другие счетчики гамма-квантов или нейтронов. Для опробования горных выработок используются аналогичные переносные генераторы и детекторы. С их помощью производится серия систематических замеров, совокупность которых рассматривается как линейная проба (ядерно-геофизическая борозда).

Большинство ядерно-геофизических методов обладает небольшой глубиной — от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. При опробовании полезных ископаемых это обстоятельство не является препятствием, так как поперечные сечения линейных проб не оказывают существенного влияния на достоверность результатов. Перед замерами требуется только обязательная очистка стенок разведочных выработок, а стенки скважин должны быть ровными, что устанавливается путем кавернометрии.

Для опробования в практике геологоразведочных работ в настоящее время широко используется шесть ядерно-геофизических методов.

Селективный гамма-гамма метод (ГГМ-С) в каротажном и подземном вариантах — для опробования однокомпонентных месторождений железа, свинца, ртути, вольфрама, сурьмы и бария.

Рентгено-спектральный (рентгено-радиометрический) метод РСМ (или РРМ) в каротажном и подземном вариантах для определения содержаний свинца, цинка, молибдена, сурьмы, ртути, бария, висмута и некоторых других элементов в рудах сложного состава.

Метод ядерного гамма резонанса (ЯГР) для опробования оловянных руд.

Спектрометрический нейтронный гамма метод (НГМ) в каротажном варианте для опробования на хлор, железо, хром и никель (на месторождениях силикатного никеля).

Активационный метод в каротажном варианте (АК) для опробования месторождений меди, бокситов, марганца, флюорита.

Гамма-нейтронный (фотонейтронный) метод (ГНМ) в каротажном и подземном вариантах — для опробования бериллиевых месторождений.

Выявлены благоприятные предпосылки и доказана практическая возможность использования нейтрон-нейтронного метода (ННМ) для количественного определения бора, редких земель, кадмия, ртути, лития, марганца и некоторых других элементов. Расширяются возможности и совершенствуется техника проведения перечисленных выше ядерно-геофизических методов.

Современные масштабы использования ядерно-геофизических методов для опробования разведочных горных выработок и скважин пока еще ограничены и далеко не соответствуют их потенциальным возможностям. Большинство методов нуждается в углубленной научной разработке и совершенствовании в связи с тем, что на результаты опробования оказывают заметное влияние: минеральный и химический состав, ядерно-физические свойства, текстурные особенности, плотность и влажность полезных ископаемых, условия скважинных измерений, свойства бурового раствора и характер опробуемых поверхностей. Искажающее влияние всех этих факторов подлежит учету в процессе ядерно-геофизического опробования. Поэтому каждая новая его модификация до ее практического использования проходит стадию опытно-методических работ, в процессе которых устанавливаются условия измерений, специфические особенности строения и состава испытуемого полезного ископаемого, оценивается влияние неизбежных помех и разрабатывается методика введения соответствующих поправок.

Для повышения чувствительности методов и достоверности результатов опробования в геологоразведочной практике широко практикуется комплексирование ядерно-геофизических методов.

Так, например, при изучении алтайских полиметаллических месторождений опробование залежей проводилось комплексом методов спектрометрического гамма-гамма каротажа (ГГК-С), нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) и спектрометрического активационного каротажа (АКс). По данным ГГК-С определялось со-

держание свинца, методом АКс — содержание меди, а методом ННК — содержание кадмия. По корреляции с кадмием рассчитывалось содержание цинка в рудах. Сочетание нескольких методов обычно улучшает эффективность каждого метода в отдельности, так как при этом взаимно уточняются значения отдельных поправок. В рассматриваемом случае применение ННК позволило внести

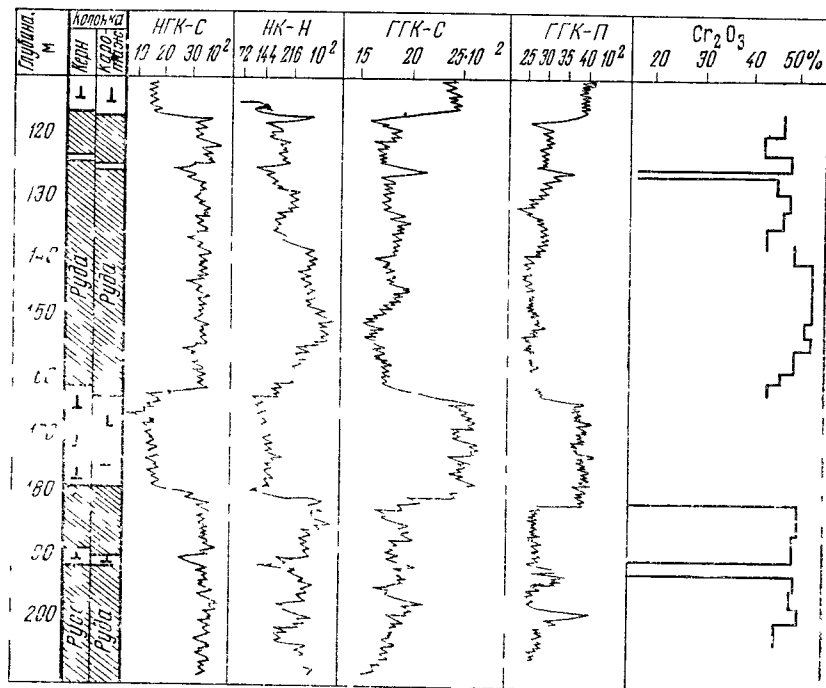


Рис. 41 Пример комплексирования ядерно-геофизических методов при опробовании и изучении хромитового месторождения (по В. Ф. Караниколо)

поправки на влажность и наличие нейтронопоглощающих элементов в результате активационного каротажа. На рис. 41 приводится пример комплексирования ядерно-геофизических методов при опробовании месторождения хромитов.

Применение ядерно-геофизических методов обеспечивает резкое повышение эффективности геологоразведочных работ: повышает производительность опробования, сокращает трудоемкие затраты и способствует переходу к бескерновому бурению колонковых скважин. Кроме того, в отличие от механических способов пробоотбора у геологов появляется экономически оправданная возможность получить массовые данные о содержаниях полезных компонентов в пределах элементарно малых участков линейных проб, длиной порядка 10—15 см. Эти данные позволяют изучить строение полезных ископаемых в масштабах забоев горных выработок, что

необходимо для выбора наиболее эффективных систем и способов разработки месторождений. С развитием ядерной геофизики по аналогии с радиометрическими методами, несомненно будут созданы ядерно-геофизические методы сортировки и обогащения руд, применение которых существенно повысит эффективность использования недр. В этих случаях основой для характеристик их контрастности будут служить данные массового опробования разведочных пересечений по элементарно малым участкам

Таким образом, ядерно-геофизические методы представляют собой весьма эффективный и перспективный метод опробования полезных ископаемых в естественном залегании. С каждым годом они совершенствуются, а их возможности расширяются, включая все более широкий набор химических элементов. В недалеком будущем ядерно-геофизические методы станут ведущими методами опробования большинства месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых.

§ 5. Обработка и анализы проб

Обработка проб Для выполнения анализов от проб отбираются навески, размеры которых во много раз меньше исходных масс проб. При этом необходимо сохранить представительность навесок относительно исходных масс, что обеспечивается предварительным измельчением и перемешиванием материала пробы. Совокупность операций по измельчению, просеиванию, перемешиванию и сокращению проб называется их обработкой. Наиболее трудоемкой операцией является измельчение. Поэтому обработку проводят в несколько последовательных стадий дробления и сокращения.

Для расчета оптимальной массы Q , до которой может быть сокращена данная проба при условии, что погрешность сокращения не превысит допустимых пределов было предложено несколько формул. Наиболее общая из них (формула Демонда и Хальфердаля)

$$Q = kd^a, \quad (6.2)$$

где Q — предельно допустимая «надежная» масса сокращенной пробы, кг;

k — коэффициент, зависящий от степени неоднородности распределения ценного компонента в полезном ископаемом, a — коэффициент, зависящий от соотношения диаметров частиц в пробе.

По мнению П. Л. Каллистова, коэффициент k определяется заданным числом частиц в пробе, которое зависит от содержания полезного компонента в ценных минералах и в массе полезного ископаемого, от размеров ценных минералов или их сростков и от степени равномерности распределения ценных минералов в массе полезного ископаемого. Величина коэффициента k условно характеризует неоднородность пробы при некотором постоянном диаметре частиц пробы. В конкретных условиях коэффициент k может изменяться от 0,05 до 1.

Зависимость массы пробы от диаметра ее частиц определяется показателем степени α . Коэффициент α отражает изменение неоднородности пробы в связи с изменениями количества частиц и соотношений диаметров частиц по мере измельчения пробы. В зависимости от физико-механических свойств полезного ископаемого величина коэффициента α может изменяться от 1,5 до 2,7, погашая тем самым преувеличение надежности масс за счет вычисления их не по среднему, а по максимальному диаметру частиц.

Для расчета надежных масс по формуле (6.2) необходимо экспериментальное определение значений обоих коэффициентов для каждого природного типа и сорта полезного ископаемого. Проведение таких экспериментальных исследований экономически целесообразно только на крупных месторождениях полезных ископаемых в условиях эксплуатационных разведок. На более ранних стадиях разведок для расчета надежных весов обычно используется формула Ричардса—Чечотта

$$Q = kd^2, \quad (6.3)$$

в которой коэффициент k в зависимости от степени равномерности распределения полезных минералов в массе проб принимается равным от 0,05 до 0,3—0,5.

Схема обработки пробы с неравномерным распределением металла в руде, рассчитанная по формуле (6.3) при $k=0,4$, показана на рис. 42. Для страховки от возможных погрешностей обработки проб при расчете надежных масс по формуле (6.3) значения коэффициентов k обычно несколько завышаются. Связанное с этим незначительное завышение надежных масс проб не оказывает заметного влияния на экономическую эффективность процесса обработки при исходных массах проб менее 10 кг и общем числе проб, сопоставимом с производительностью проборазделочной мастерской.

Для дробления проб используются щековые дробилки, шаровые мельницы, валки и дисковые истиратели. Дробленый материал просеивается через специальные грохота и сита с отверстиями от нескольких сантиметров до 0,07 мм. Перемешивание и сокращение проб производится вручную или с помощью специальных делителей. Более совершенное оборудование — установка УОГП (установка обработки геологических проб) сконструирована ВИТРОм и выпускается серийно. Она обеспечивает непрерывность процесса обработки, автоматическое дробление и сокращение проб до погрешковых навесок в 50—150 г.

Погрешность, вносимая в оценку содержания полезного компонента за счет сокращения пробы, может быть рассчитана по формуле*:

$$s^2 = \left(\frac{1}{p_1} - \frac{1}{p} \right) Cd^3, \quad (6.4)$$

* Формула выведена независимо друг от друга Ю. А. Ткачевым в 1962 г. и П. Жи в 1964 г.

- где p_1 — масса сокращенной части пробы, г;
 p — масса исходной пробы, г;
 C — коэффициент, зависящий от степени контрастности содержания полезного компонента в пробе, г/см³;
 d — размер ячейки сита, на котором задерживается 5—10% просеиваемой массы, см;
 s — максимальная погрешность (с вероятностью 68%), вносимая в оценку содержания за счет сокращения массы пробы, отн. %.

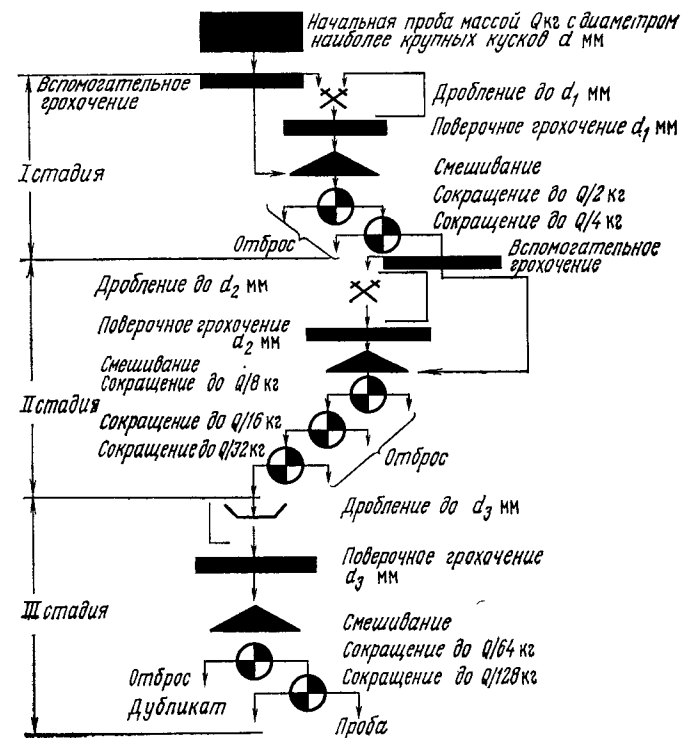


Рис. 42. Схема обработки пробы, рассчитанная по формуле $Q = kd^2$

Значение коэффициента C зависит от величины $A = \frac{a}{b} 100\%$ (где a — среднее содержание полезного компонента в пробе; b — среднее содержание полезного компонента в минерале) и от удельного веса полезного минерала. Величина A может изменяться от 0,01 до 100, а величина C — от 0,1 до 1000. При $A=1$ величина $C \approx 10$. Для определения значений A и C составлены специальные номограммы [19].

Анализ проб. Все отобранные пробы подвергаются анализам или испытаниям. Виды анализов и методы испытаний проб зависят и от их назначения, видов полезных ископаемых и областей их

применения. Основная масса анализов приходится на геохимические и рядовые пробы.

Спектральные анализы широко используются на всех стадиях изучения месторождений вследствие их высокой производительности и низкой себестоимости. Полуколичественные спектральные анализы являются основным методом анализов геохимических проб, так как обеспечивают выявление в них одновременно полного комплекса элементов-индикаторов и их примерных содержаний. На ранних стадиях разведки спектральные анализы полезного ископаемого выявляют также полный набор наиболее вероятных полезных компонентов, что необходимо для своевременной организации исследований по комплексному изучению запасов минерального сырья в недрах. Спектральные анализы проб должны предшествовать всем другим массовым анализам и испытаниям проб.

Химические анализы проводятся для оценки содержаний главных и сопутствующих полезных (и вредных) компонентов в полезных ископаемых и в отдельных полезных минералах, а также для определения валового химического состава полезных ископаемых. Достоверность химических анализов зависит от принятого метода анализа, содержаний исследуемых элементов и химического состава руд. Поэтому проведение предварительных спектральных анализов проб способствует повышению достоверности химических анализов. Как правило, с увеличением содержаний анализируемых элементов в пробах абсолютные погрешности химических анализов возрастают, а их относительные погрешности — уменьшаются. Методика химического анализа проб на тот или иной элемент должна быть заранее апробирована с учетом данных спектральных анализов, для того чтобы предельные погрешности выбранного метода не превысили бы средних погрешностей, установленных для данного полезного компонента инструкциями ГКЗ СССР.

Для проб, отобранных из зон окисления вторичного обогащения и зон смешанных руд проводятся рациональные (фазовые) анализы, т. е. определяются не только валовые количества полезных элементов, но и формы их нахождения в рудах (низко- и высоковалентные, сульфидные, окисные, силикатные и др. формы).

Определения химического состава отдельных полезных минералов производится в специально отбираемых для этого мономинеральных фракциях.

Химические анализы отличаются, как правило, высокой точностью но низкой производительностью и высокой себестоимостью. При больших объемах аналитических работ химические лаборатории не успевают обеспечивать разведку своевременной информацией. Поэтому в последнее время они заменяются высокопроизводительными физическими методами: рентгеноспектральными (рентгенорадиометрическими), атомноабсорбционными, ядерно-физическими и радиометрическими.

Рентгеноспектральные методы успешно применяются для ко-

личественного определения содержаний цветных и редких металлов и рассеянных элементов. Атомноабсорбционный спектральный анализ используется для оценок содержаний магния, кальция, цинка, кадмия, сурьмы, висмута, меди, кобальта, никеля, железа, серебра и золота. Ядерно-физические (нейтронно-активиционные и гамма-активиционные) методы позволяют устанавливать содержания золота, серебра, платиноидов, цветных металлов, редкоземельных и других элементов в породах и рудах.

Рентгеноспектральные и атомноабсорбционные методы используются для количественных определений многих элементов, при содержании их в пробах от 0,1 до 10%. Для определений низких и кларковых содержаний применяются количественные эмиссионные спектральные и ядерно-физические методы, а для определения радиоактивных элементов — радиометрические методы. В настоящее время официально утверждено применение физических методов при анализе минерального сырья на содержания бериллия, бора, марганца, железа, бария, стронция, ниобия, тантала, вольфрама, молибдена, олова, сурьмы, ртути, свинца, урана, тория и радия. В стадии утверждения находятся физические методы определения содержаний: золота, серебра, цезия, меди, цинка, алюминия и кремния. Специализированные рентгеноспектральные лаборатории и ядерно-физические лаборатории, оснащенные стационарными установками с импульсными ядерными реакторами или микротронами, обеспечивают высокие пороговые чувствительности анализов и точность не ниже ± 20 отн.%. С развитием и внедрением физических методов анализа химические анализы проб будут применяться значительно реже и только для выполнения особо точных анализов, изготовления эталонов, стандартных образцов и для контрольных целей.

Минералогические анализы проб являются главными видами массовых анализов при разведке россыпных месторождений. Пробы песков отмываются, а полученные шлихи разделяются на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Каждая из них в свою очередь разделяется по отдельным весам минералов в тяжелых жидкостях. Выделенные мономинеральные фракции, содержащие в своем составе ценные компоненты, взвешиваются, а их содержания рассчитываются в граммах ценного минерала на исходный вес шлиха. Минералогические методы анализов рядовых проб могут использоваться в качестве ведущих и при разведке некоторых коренных месторождений. Их применение особенно эффективно, если в одном рудном минерале содержится несколько полезных элементов и химический состав этого минерала отличается постоянством.

§ 6. Контроль процесса опробования

При отборе, обработке и анализе проб неизбежно возникает ряд погрешностей, связанных с принятой методикой и техникой проведения этих операций. Все виды погрешностей опробования разделяются на случайные и систематические.

Случайные погрешности характеризуются переменным знаком. При выполнении достаточно большого числа единичных операций случайные погрешности взаимно компенсируются. Наличие случайных погрешностей опробования снижает точность оценок средних содержаний в подсчетных блоках, однако с возрастанием числа наблюдений они все ближе приближаются к истинным. Отрицательное влияние случайных погрешностей тем сильнее, чем меньше количество единичных наблюдений и выше уровень случайных погрешностей.

Систематические погрешности характеризуются постоянным знаком. При наличии систематических погрешностей независимо от количества наблюдений средние результаты будут либо завышены, либо занижены по сравнению с истинными. Степень отклонения средних значений от истинных зависит от величины систематической ошибки. Систематические погрешности несравненно опаснее случайных и их практически нельзя допускать при опробовании полезных ископаемых.

Для выявления уровней случайных погрешностей и получения надежных данных, подтверждающих отсутствие систематических погрешностей, все основные операции по опробованию подвергаются обязательному контролю. Достоверность результатов опробования устанавливается по отсутствию систематических погрешностей, а их точность — по уровню средних случайных погрешностей.

Контроль процесса пробоотбора. Оценка качества механического способа отбора проб особенно необходима в тех случаях, когда различия в физико-механических свойствах полезных минералов, жильных минералов и вмещающих пород позволяют предполагать возможность избирательного выкрашивания (или истирания) материала пробы.

Контроль механических способов отбора проб в горных выработках осуществляется другим, технически более совершенным способом. Так, например, для контроля качества отбора бороздовых проб отбираются сопряженные с ними контрольные бороздовые пробы большего поперечного сечения. Однако по существу проверить качество пробоотбора по результатам анализа контрольной и контролируемой проб нельзя, так как обе они представляют разные объемы недр. Содержания полезного компонента по сопряженным пробам будут расходиться тем больше, чем выше природная изменчивость оруденения, меньше длина и больше различия в поперечных сечениях борозд. Еще заметнее это расхождение проявится при сравнении результатов анализов бороздовых и сопряженных с ними валовых проб. Поэтому результаты контроля оцениваются не сравнением содержаний по парам проб, а сравнением средних содержаний, вычисленных по достаточно большому числу контрольных и контролируемых проб. Это число зависит от степени неравномерности оруденения, но во всех случаях должно быть не менее 40—50 проб. Для оценки вероятной систематической погрешности при отборе бороздовых проб М. Н. Денисовым (1965 г.)

предложен статистический способ обработки пар сопряженных проб. Эта задача может быть решена и с применением дисперсионного анализа.

Контроль пробоотбора при бурении скважин возможен путем последующей проходки и опробования сопряженных с ними горных выработок. Однако применение этого способа целесообразно только при бурении неглубоких поверхностных или горизонтальных и вертикальных подземных скважин. При бурении глубоких разведочных скважин проходка сопряженных с ними горных выработок экономически нецелесообразна. Поэтому проверка результатов их опробования возможна только при вскрытии участков буровой разведки системами разведочных горных выработок.

Контроль качества геофизических (радиометрических и ядерно-геофизических) методов опробования возможен путем повторных измерений. В отличие от механических способов пробоотбора контрольное повторное изменение теоретически должно совпадать с контролируемым. На практике результаты обоих измерений несколько расходятся, отражая уровень технических погрешностей аппаратуры. Однако повторное геофизическое измерение не выявит возможных систематических погрешностей опробования, связанных с недостатками применяемого метода. С этой целью 10—20% пересечений, опробованных геофизическими методами, контролируется отбором бороздовых или валовых проб. В этих случаях расхождение результатов анализов по парам сопряженных проб проявляются еще резче, но при отсутствии систематических погрешностей пробоотбора средние содержания по достаточно большому количеству пар практически совпадают.

Контроль процесса обработки проб возможен путем систематического опробования всех отходов, которые получаются при сокращении пробы или экспериментальной обработке нескольких партий проб по схеме, составленной с заведомо завышенными значениями коэффициента k в формуле (63). Первый способ предпочтительнее, так как только он гарантирует выявление возможных систематических погрешностей в связи с избирательным истиранием и потерями рудного материала.

Контроль анализов проб проводится для суждения о качестве работы лаборатории, выполняющей те или иные анализы проб, и для оценки степени надежности аналитических данных по содержаниям полезных и вредных компонентов в пробах. Различают два вида контрольных анализов: внутренний и внешний. Внутренний контроль выполняется в той же лаборатории, в которой производятся массовые анализы проб. Для этого в лабораторию повторно в зашифрованном виде направляются дубликаты некоторых проб, изготовленные из материала последних отбросов каждой пробы. Внутренний контроль проводится систематически в течение всего периода разведки месторождения (поквартирно или раз в полугодие).

Контрольные пробы отбираются группами, отдельно по каждому природному (технологическому) типу минерального сырья, а

Изучение месторождений в процессе геологоразведочных работ

также по классам содержаний полезных компонентов (например, ниже бортового содержания, убогие, бедные, рядовые и богатые). Для каждого периода контроля количество проб в каждом классе должно быть не менее 25—30, а общее количество проб — не менее 5—8% от всего числа проанализированных проб.

Внутренним контролем устанавливаются только средние значения случайных погрешностей анализов, которые в простейшем случае вычисляются как среднеарифметические из единичных расхождений контрольных и контролируемых анализов, без учета знака расхождения. Для каждого элемента в зависимости от его среднего содержания в полезном ископаемом инструкциями ГКЗ СССР установлены предельно допустимые значения.

Внешний контроль анализов проводится в другой, как правило, технически более совершенной лаборатории, для своевременного выявления и устранения возможных систематических ошибок в работе основной лаборатории. Контрольные пробы разделяются по типам минерального сырья и по классам содержаний и не реже двух раз в год отправляются на внешний контроль. Число контрольных проб в каждой группе должно быть не менее 25—30, а всего — не менее 3—5% от общего количества проанализированных проб.

По результатам внешнего контроля систематическая погрешность в работе лаборатории должна практически отсутствовать. Поэтому никаких предельных значений для нее не устанавливается.

Вычисление средних оценок систематических погрешностей производится в простейшем случае путем отдельного суммирования всех единичных расхождений с положительными и отрицательными знаками. Среднеарифметические значения систематической погрешности вычисляются по их алгебраической сумме и кроме цифровой оценки характеризуется знаком отклонения.

Внешним контролем проверяется не только качество работ основной лаборатории, но и правомерность выбранного метода анализа. При обнаружении систематических погрешностей контролирующая лаборатория должна также выявить причины их возникновения. Если же эти причины остаются невыясненными, то возникает необходимость проведения арбитражных анализов. Арбитражные анализы выполняются наиболее квалифицированными лабораториями по части анализа данного вида минерального сырья.

При обработке результатов контрольных анализов широко используются методы вариационной статистики случайных величин, обеспечивающие получение не только точечных, но и интервальных оценок средних при заданных уровнях значимости.

Методы статистической обработки результатов контрольных анализов, технические средства пробоборки и обработки проб, а также особенности опробования полезных ископаемых в условиях действующих горных предприятий подробно рассматриваются в работах В. М. Крейтера, М. Н. Альбова и А. М. Быбочкина [4, 5, 22].

Основные затраты на геологоразведочные работы связаны с проведением разведочных горных выработок и скважин. Эти затраты оправдываются только в тех случаях, если в результате всестороннего изучения разведочных горных выработок и скважин будет получена достаточно полная информация о месторождении как об объекте будущего промышленного освоения. С этой целью все пройденные горные выработки и пробуренные скважины подвергаются комплексному геологическому, геофизическому и минералогеохимическому изучению для выяснения особенностей геологического строения участка, количества и качества запасов полезного ископаемого, технологических свойств минерального сырья и горно-геологических условий эксплуатации месторождения.

Результаты наблюдений в горных выработках и скважинах фиксируются в виде зарисовок, фотографий, описаний, замеров различных свойств, сопровождаются отбором образцов и проб полезного ископаемого и вмещающих пород. Совокупность операций по созданию первичных документов, отражающих результаты наблюдений, обычно называют геологической документацией горных выработок и скважин.

Первичные документы имеют исключительно важное значение как основа для создания геологической модели месторождения и как единственный архивный материал, сохраняющийся после его разведки. Законодательством СССР о недрах особо предусматривается ответственность предприятий и организаций, осуществляющих геологическое изучение недр за сохранность геологической и исполнительно-технической документации, образцов горных пород и руд, керн, дубликатов проб полезных ископаемых, которые могут быть использованы при дальнейшем изучении недр, разведке и разработке полезных ископаемых.

В процессе разведки выполняется комплекс топогеодезических и маркшейдерских работ, геологических, минералогеохимических наблюдений, по совокупности которых составляется отчет о результатах разведочных работ, графические модели-разрезы, карты, проекты, блок-диаграммы, объемно-макетные модели и производится геолого-экономическая оценка месторождения.

§ 1. Топогеодезические и маркшейдерские работы

Применением топогеодезических и маркшейдерских работ обеспечивается графическая основа для составления крупномасштабных геологических карт, геологоразведочных разрезов и планов.

Топографические и маркшейдерские съемки выполняются в единой системе координат, для чего на территории месторождения

и рудного поля создается триангуляционная сеть местного значения. Между местными триангуляционными пунктами прокладывается система полигонометрических и нивелирных ходов, точки которых образуют опорную съемочную сеть, а на площади месторождения проводятся теодолитные, тахеометрические, мензульные или стереофотограмметрические съемки, по данным которых составляются топографические планы поверхности в масштабах от 1 : 10 000 до 1 : 500. Линии разведочных профилей, устья разведочных выработок и скважин привязываются с помощью теодолитных ходов и геометрического нивелирования.

Маркшейдерские работы включают ориентирно-соединительные съемки, подземную теодолитную и вертикальную съемки, съемку подробностей в горных выработках, расчет координат забоев и разведочных пересечений скважин. На основании перечисленных съемок и расчетов составляются маркшейдерские планы масштаба 1 : 1000 и 1 : 500, которые служат основой для всех видов подземного геологического картирования и геометризации недр.

Точные топографические и маркшейдерские планы, выполненные в единой системе координат, необходимы для надежной увязки геологоразведочных данных, составления разрезов, погоризонтных планов и других сводных документов, характеризующих геологическое строение и горно-геологические условия эксплуатации месторождения.

§ 2. Геологическое изучение горных разведочных выработок

Геологическому изучению подвергаются все пройденные горные выработки и пробуренные скважины. Для оперативного направления геологоразведочных работ необходимо, чтобы фиксация геологических наблюдений проводилась непосредственно вслед за проходкой разведочных выработок и бурением скважин.

К качеству первичных геологических документов предъявляются самые строгие требования. Они должны отличаться тщательностью выполнения, точно, объективно и с максимальной полнотой отражать наблюдаемые факты. Поэтому геологическая документация должна выполняться высококвалифицированными геологами, систематически изучающими данное месторождение. В период разведки месторождения качество первичной геологической документации периодически проверяется специальными ведомственными комиссиями. Результаты проверок достоверности геологической документации путем сличения ее с натурной оформляются специальными актами.

Первостепенными объектами геологической документации являются тела полезных ископаемых и вмещающие их породы. При изучении тел полезных ископаемых документируются: условия их залегания, морфологические черты, особенности строения, характер контактов с вмещающими породами. Детально изучаются текстуры, минеральный состав, зональность тел полезных ископаемых и околорудные изменения вмещающих пород. Особое внимание

уделяется выявлению пространственных связей тел и обогащенных участков полезных ископаемых с геолого-структурными элементами: трещинами, складками, элементами прототектоники, породами определенного петрографического или литологического состава. На месторождениях осадочного происхождения особо детально изучается литологический состав и характер слоистости пород, их цвет, физическое состояние, проявления метаморфизма и выветривания. Породы, обладающие слоистыми текстурами, разделяются на слои и пачки с индексацией каждого слоя, а толщи неслоистых пород — на разновидности по литологическим и фаціальным признакам.

На месторождениях гидротермального происхождения особо тщательно описываются образования различных стадий, их пространственные взаимоотношения, зональность, связь полезной минерализации с изменениями вмещающих пород и элементами тектоники. Особо выделяются крупные послеминерализованные нарушения, по которым наблюдаются смещения отдельных участков тел полезных ископаемых.

Массовой геологической документации подлежат все пройденные на месторождении горные выработки и скважины. Специализированная геологическая документация применяется при изучении отдельных принципиально важных вопросов геологического строения, решение которых необходимо для правильного понимания условий формирования или закономерностей пространственного размещения полезного ископаемого.

При геологической документации разведочных выработок производится зарисовка их стенок, кровли или забоев в масштабах, обеспечивающих отчетливое графическое изображение отдельных текстурных разновидностей полезного ископаемого и деталей геологического строения документируемого участка. Наиболее распространенными масштабами массовой подземной геологической документации являются масштабы 1 : 25 и 1 : 50.

В разведочных канавах зарисовываются дно канавы и одна стенка (рис. 43). В шурфах — две противоположные стенки, реже все четыре стенки и забой. При документации квершлагов, ортов, гезенков и восстающих зарисовывается одна, реже обе стенки. Документация штреков проводится по кровле, а при пологих залеганиях жил — по стенкам. Часто документации подвергаются и забой штреков. В участках, где можно наблюдать взаимоотношения гидротермальных продуктов различных стадий минерализации, характерные текстуры полезных ископаемых, особенности строения их контактов, взаимоотношения с магматическими породами различного возраста или другие детали геологического строения, существенные для понимания условий формирования полезного ископаемого, зарисовки выполняются в более крупных масштабах (1 : 10, 1 : 5), вплоть до зарисовок в натуральную величину.

Качество геологических документов в известной мере зависит от того, насколько удачно подобраны условные обозначения элементов геологического строения. Форма знаков геологической легенды

должна способствовать изображению не только литологических особенностей пород, минерального состава полезного ископаемого и измененных вмещающих пород, но и элементов ориентировки слоистости, сланцеватости, флюидальности, гнейсовидности и других директивных структур.

Для повышения качества геологической документации в практике геологоразведочных работ используются фотогеологические методы с последующим геологическим дешифрированием фотоснимков [28].

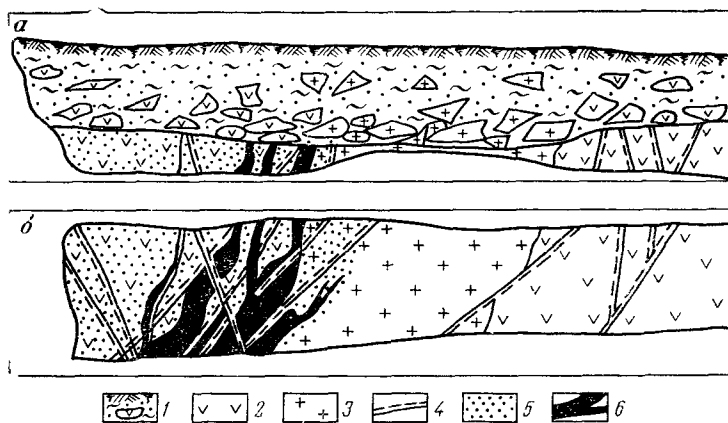


Рис 43. Геологическая документация стенки (а) и дна (б) канавы.

1 — рыхлые отложения, 2 — андезито-дациты, 3 — гранит порфиры, 4 — тектонические трещины, 5 — окварцевание, 6 — рудные жилы

Фотосъемка хорошо вымытых поверхностей горных выработок производится с соблюдением требований, обеспечивающих получение масштабных снимков. По совокупности контактных отпечатков в выбранном для геологической документации масштабе составляется фотосхема, по которой производится геологическое дешифрирование. В результате дешифрирования составляется фотомаркшейдерская (фотограмметрическая) геологическая основа документируемого участка горной выработки, представляющая собой масштабную зарисовку геологических наблюдений.

Фотомаркшейдерская геологическая основа отражает сложность и многообразие геологического строения участка горной выработки, обеспечивая информацию об условиях залегания полезных ископаемых и вмещающих пород, элементах их складчатой и разрывной тектоники, характере контактов и текстурных особенностях, а также о размещении и качестве отобранных бороздовых проб.

Создание фотомаркшейдерской геологической основы не исключает необходимости непосредственных наблюдений в горных выработках, так как далеко не все особенности строения и состава полезного ископаемого находят отображение на фотоснимках. Ми-

неральный состав полезного ископаемого и вмещающих пород, характер их околорудных и фациальных изменений, структурные взаимоотношения агрегатов полезной минерализации и вмещающих пород, характер выполнения тектонических трещин и многие другие особенности строения и состава изучаемых объектов могут быть выявлены только путем непосредственных наблюдений. Без тщательных дополнительных исследований визуальные наблюдения в масштабе фотоснимка могут привести к неверным заключениям. Так, например, визуально наблюдаемые отчетливые пересечения жильных образований дайками магматических пород могут быть приняты за доказательство послерудного возраста даек, в то время как детальными макро- и микроскопическими исследованиями штуфов и шлифов часто выявляются тонкие рудные просечки и признаки гидротермального изменения дайковых пород, указывающие на экранирующую роль даек.

Применение фотомаркшейдерской основы освобождает геологов от трудоемкого процесса зарисовок с натуры и обеспечивает получение высококачественных, предельно детальных и объективных графических изображений документируемых поверхностей. При использовании дешифрированных фотоснимков как графической основы для совершенствования и корректирования результатов наблюдений непосредственно в горных выработках фотогеологические методы могут быть рекомендованы к широкому внедрению в практику геологоразведочных работ, так как они обеспечивают резкое улучшение детальности и качества первичных геологических документов. Методы фотодокументации имеют большие перспективы для дальнейшего совершенствования по пути применения цветных и спектрально-зонных съемок, а также в направлении механизации и автоматизации отдельных операций фотогеологических работ.

Описание результатов геологических наблюдений как необходимое дополнение к зарисовке сопровождает каждый участок зарисовки или фотогеологической документации. Оно должно содержать только те сведения, которые не удается отобразить графическим способом (структурно-текстурные особенности полезных ископаемых и вмещающих пород, их минеральный состав, форма и расположение минеральных скоплений, борозд или зеркал скольжения, выполнение трещинных структур, цвета вмещающих пород и т. д.).

Отбор образцов руд и вмещающих пород в процессе документации разведочных выработок преследует две основные цели: составление эталонных коллекций и оперативное изучение каменного материала.

Эталонные коллекции типичных видов полезных ископаемых (по природным типам, минеральным ассоциациям и текстурным особенностям) и вмещающих пород (раздельно неизмененных и измененных) должны создаваться в каждой разведочной партии, храниться в общедоступном месте и систематически пополняться. К каждому образцу эталонной коллекции прилагаются прозрач-

ный, а если необходимо, то и полированный шлифы, которые в совокупности составляют шлифотеку. Эталонная коллекция является каменным приложением к легенде. Она способствует единообразию диагностики и описания горных пород и полезных ископаемых всеми техническими исполнителями.

Оперативное изучение каменного материала производится систематически на протяжении всего процесса камеральной обработки разведочных данных. Из отобранных образцов изготавливаются прозрачные и полированные шлифы, отбирается материал для специальных исследований и анализов. На первых этапах разведочных работ количеством таких образцов бывает довольно большим, а по мере изученности месторождения оно постепенно сокращается. Все отбираемые образцы снабжаются этикетками, нумеруются и подписываются, а места их отбора показываются на зарисовках.

§ 3. Геологическое изучение разведочных скважин

При бурении колонковых скважин изучение геологического строения производится по керну, а при бескерновом бурении — по буровой грязи или по шламу. Кроме того, используются сведения о режиме бурения — скорости бурения в пределах каждого рейса, изменения скоростей бурения на отдельных интервалах, случаи провалов бурового снаряда и другие, способствующие выявлению зон тектонически ослабленных пород, нарушений, карстовых полостей и других участков, различных по физико-механическим свойствам.

При документации колонковых скважин керн тщательно изучают, зарисовывают и фотографируют. Для обеспечения сохранности и последовательности расположения отдельных плашек керн извлекают из колонковой трубы с помощью специальных керноприемников.

Главное значение при изучении керна имеет его описание. Когда непосредственно в керне удастся наблюдать текстурные особенности полезного ископаемого, взаимоотношения прожилков различного состава, контакты различных пород или какие-либо другие факты, существенные для понимания особенностей строения или генезиса месторождения, он зарисовывается или фотографируется.

Длина пробуренного интервала скважин за очередной рейс сравнивается с длиной керна, извлеченного из скважины за тот же рейс, и по расхождению замеров вычисляется линейный выход керна.

Отобранный керн в порядке поступления укладывается в специальные ящики и направляется в кернохранилище. По результатам геологической документации составляется колонка пересеченных скважиной пород. В зависимости от глубины скважины и сложности геологического разреза масштаб построения колонки выбирается от 1 : 100 до 1 : 500. При составлении колонки фактиче-

ские наблюдения по керну обобщаются, корректируются по записям в буровом журнале по данным каротажных геофизических работ и распределяются на весь перебуренный интервал без пропусков за неполный выход керна. Геологическая колонка служит основой для составления паспорта скважины.

В паспорте отображается конструкция скважины, указываются ее номер и координаты, границы каждого рейса и соответствующие им линейные выходы керна, показываются результаты инклинометрических замеров, каротажных работ, интервалы отбора различных видов проб и результаты их анализов. Каждая разновидность полезного ископаемого и вмещающих пород сопровождается геологическим описанием с указанием их контактов, глубин залегания и стволовых мощностей.

При документации скважин, как и при геологическом изучении горных выработок, отбираются образцы полезных ископаемых и вмещающих пород для более детального изучения их состава и для пополнения эталонной коллекции.

Документация скважин бескернового бурения обеспечивает данные только для суждения о составе полезных ископаемых и вмещающих пород. Поэтому качество записей в буровых журналах и режиме бурения и результаты каротажных исследований приобретают при их изучении особо важное значение.

§ 4. Минералого-геохимические исследования

Минералого-геохимическому изучению подвергаются пройденные разведочные горные выработки и скважины, а также образцы и пробы, отобранные из них в процессе геологической документации.

При камеральном изучении каменного материала решаются две важнейшие задачи:

— изучается минеральный и химический состав полезного ископаемого и вмещающих пород, их структурно-текстурные особенности, распределение полезных компонентов по минеральным составляющим и другие свойства, определяющие выбор наиболее рациональных методов технологии переработки минерального сырья;

— выясняются минералого-геохимические особенности рудных скоплений, последовательность процессов минералообразования, условия формирования месторождения.

Решение обеих задач осуществляется на основе макро- и микроскопического изучения штуфов, прозрачных и полированных шлифов, протолочек и мономинеральных фракций с применением специальных методов исследования — минералогических, спектральных, рентгеноскопических, рентгеноструктурных, термических, химических и микрохимических анализов, электронно-микроскопических исследований, инфракрасной спектроскопии, исследований с помощью рентгеновских микроанализаторов и других современных методов.

При разведке сложных постагматических месторождений целесообразно проведение специального минералогического и геохимического картирования с последующей геометризацией выявленных минералого-геохимических особенностей полезного ископаемого. С этой целью весь разведочный объем недр опробуется по регулярной сети, а отобранные пробы подвергаются детальному минералогическому или минералого-петрографическому изучению.

Знание закономерностей пространственного размещения минеральных ассоциаций различных стадий процесса минералообразования позволяет прогнозировать изменения качества минерального

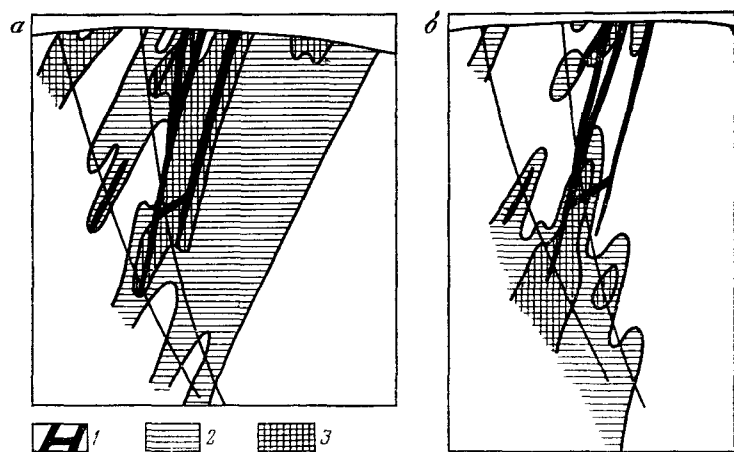


Рис. 44. Аддитивные надрудные (а; Pb+Ag+As+Sb) и подрудные (б, Cu+Bi+Be+W) ореолы вокруг золоторудных жил (по С. В. Григоряну)

1 — рудные жилы, 2 — ореолы, 3 — максимальные концентрации в ореолах

сырья на флангах и на глубоких горизонтах вскрытых тел полезных ископаемых, а знание зональности метасоматитов обеспечивает уверенную увязку рудных интервалов и способствует выявлению слепых залежей полезных ископаемых

По всем разведочным горным выработкам и скважинам проводится комплекс геохимических исследований по данным их сплошного геохимического опробования.

Отбор геохимических проб обычно производится способом пунктирной борозды, путем отбойки мелких кусочков, размером 3—4 см на расстояниях от 0,5 до 2 м друг от друга. Отобранные кусочки с интервалов длиной от 2 до 10 м объединяются в одну пробу 150—200 г. Однако лучше отбирать сплошные малогабаритные бороздовые пробы длиной от 2 до 5 м, что способствует получению значительно более стабильных данных

Отобранные пробы подвергаются приближенно-количественному спектральному анализу на полный комплекс главных и сопутствующих полезных компонентов. По результатам анализов проб отстраиваются линии изоконцентраций главных и сопутствующих полезных компонентов. Этими изолиниями очерчиваются эндоген-

ные ореолы рассеяния полезных компонентов вокруг промышленно-ценных участков залежей, которые могут рассматриваться как внешние зоны единых геохимических полей, определяющих общие масштабы полезной минерализации (рис. 44).

Использование данных геохимического опробования для оценки и прогнозирования перспектив выявления новых участков полезных ископаемых, основано на том, что:

- минеральный и химический состав эндогенных ореолов аналогичен составу промышленно-ценных участков залежей полезных ископаемых;

- размеры ореолов зависят от концентрации соответствующих элементов в телах полезных ископаемых, от условий их залегания и от физико-химических особенностей вмещающих пород;

- в строении ореолов устанавливаются элементы вертикальной и горизонтальной зональности. Часть элементов концентрируется преимущественно на нижних горизонтах развития промышленно-ценных залежей, в то время другая их часть обнаруживает отчетливую тенденцию к накоплению в верхних горизонтах месторождений.

Данные о зональности ореолов используются для оценки нижних горизонтов, увязки соседних разведочных сечений и направления дальнейших разведочных работ

§ 5. Геофизические исследования в горных выработках и скважинах

Геофизические методы исследования широко используются при разведке месторождений не только как средства для изучения дополнительных разрезов и опробования полезных ископаемых, но и как вспомогательные методы для:

- выявления рудовмещающих структур, а иногда и залежей полезных ископаемых, в процессе крупномасштабного геологического картирования рудных полей и месторождений;

- повышения качества геологической документации разведочных горных выработок и скважин в процессе их геологического картирования;

- получения дополнительных гидрогеологических и инженерно-геологических сведений.

Геолого-геофизическая документация горных выработок. Сплошное геофизическое картирование горных выработок в процессе их геологической документации, как правило, не производится. Только при разведке некоторых видов минерального сырья параллельно с геологической документацией горных выработок в них систематически проводятся геофизические наблюдения. Так, например, при разведке месторождений радиоактивных руд геологическая документация горных выработок сопровождается проведением гамма-съемок, а при изучении зон окисления урановых месторождений, битуминозных пород, месторождений шеелита и алмазов для документации горных выработок используются люминесцентные методы.

Геофизические методы документации скважин играют ведущую роль при их геологическом изучении. Помимо геологической документации разрез каждой разведочной скважины изучается с помощью комплекса каротажных работ. Каротаж скважин проводится для литологического расчленения разреза, уточнения мощностей и положения контактов отдельных разновидностей пород, определения их плотности, пористости, радиоактивности, водообильности, магнитных и других физических свойств. По результатам комплексных каротажных работ существенно корректируются геологическая колонка скважин и литологические разрезы слоистых толщ, определяются опорные и продуктивные горизонты, коррелируются данные по смежным скважинам. Кроме того, методы скважинной геофизики применяются при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Наиболее широко распространены электрические, ядерно-физические и магнитные методы каротажа. Из методов электрического каротажа наибольшее распространение получили методы, основанные на изучении потенциалов естественной поляризации пород — метод самопроизвольной поляризации (ПС), на изучении удельных электрических сопротивлений пород — метод кажущихся сопротивлений (КС) и на изучении потенциалов вызванной поляризации пород — метод вызванной поляризации (ВП).

С помощью гамма-каротажа (ГК) возможно выявление уранового оруденения, залежей калийных солей, фосфоритов, титановых и цирконовых россыпей. При использовании высокочувствительных сцинтилляционных радиометров применение гамма-каротажа позволяет провести литологическое расчленение и корреляцию геологических разрезов скважин.

Гамма-гамма каротаж (ГГК) — применяется для расчленения пород по плотности и пористости. С его помощью в разрезе скважин выделяются прослой известняков и рыхлых песчаников, силлы эффузивных пород, прослой углей, брекчированные зоны дорбления и другие геологические образования заметно различающиеся по плотности или пористости.

Различными видами нейтронного каротажа (НК, НКК и НГК) выделяются водообильные, нефтеносные и газоносные горизонты, породы с повышенными концентрациями бора, хлора и серы. Положительными аномалиями отмечаются плотные известняки, доломиты, многие изверженные и метаморфические породы.

Магнитный каротаж (МК) используется для выявления железосодержащихся пород или изменения вертикальной составляющей магнитного поля. По магнитограммам можно судить о положении и мощности слоев, содержащих ферромагнитные минералы и пласты, заметно различающиеся по магнитной восприимчивости (известняки, кварциты, зоны сульфидной вкрапленности).

При геологической документации разведочных скважин на колчедан, нефть и газ используются также методы термического и акустического каротажа.

Наилучшее решение геологических задач при документации разведочных скважин обеспечивается по данным комплексных геофизических исследований. Рациональный комплекс методов каротажа определяется задачами разведки и геолого-геофизическими свойствами конкретных разрезов скважин. Чаще всего комплексуются различные методы электрического и ядерно-физического каротажа.

Геофизические методы, имеющие целью контроль технического состояния скважин включают в себя инклинометрию и кавернометрию. С помощью инклинометрии скважин определяются углы отклонения оси скважины от вертикали (зенитное искривление) и от плоскости разведочного разреза (азимутальное искривление). Измерения зенитных углов производится во всех скважинах глубиной более 100 м, а измерения азимутальных углов — при глубинах скважин более 200 м. Искривления замеряются минимум через каждые 25—30 м по мере углубления скважины. Своевременное производство замеров обеспечивает контроль за положением забоя скважины и позволяет вовремя принимать меры для исправления резких отклонений ее оси от проектного положения.

Углы и азимуты искривления скважин измеряются с помощью электрических инклинометров или фотоинклинометров. Для измерения зенитных углов в современных электрических инклинометрах используется отвес, а для измерения азимутальных углов — буссоль. Величины сопротивлений, пропорциональные азимутам и углам наклона, с помощью реохордов и топосъемных колец измеряются и фиксируются на пульте управления. Фотоинклинометры позволяют сфотографировать на пленку положение буссоли и указателя наклона.

В скважинах, пробуренных в породах с повышенной магнитной восприимчивостью измерения проводятся гироскопическими инклинометрами. Точность замера зенитных искривлений $\pm (0,5—1^\circ)$, а азимутальных — около $\pm (3—4^\circ)$. Результаты измерений зенитных и азимутальных углов учитываются при построении геологических разрезов и при вычислении истинных мощностей тел полезных ископаемых.

Кавернометрия проводится для определения фактических диаметров скважин. Изменение диаметров скважин связано с обрушением их стенок на участках неустойчивых пород (пески, тектонические зоны и др.). Данные кавернометрии используются при изучении технического состояния скважины и для расчета поправок в интерпретацию каротажных данных.

§ 6. Изучение технологических свойств минерального сырья

Изучение технологических свойств полезных ископаемых проводится на специальных технологических пробах, а также путем технологического картирования недр, для:

— выявления принципиальной возможности и экономической целесообразности промышленного использования полезного ископаемого;

— установления технологических типов минерального сырья, закономерностей пространственного размещения участков полезных ископаемых, различных по своим технологическим свойствам, условий их залегания, морфологии и строения;

— выбора метода, наиболее рациональной схемы и технологического режима переработки полезного ископаемого каждого технологического типа;

— установления технико-экономических показателей переработки минерального сырья для геолого-экономической оценки месторождения.

Характер технологических испытаний проб и методика их проведения весьма разнообразны. Они зависят от вида полезного ископаемого, его природных свойств, направления использования минерального сырья и стадии геологоразведочных работ.

Технологические свойства большинства рудных полезных ископаемых предопределяются их химическим и минеральным составом, структурными и текстурными особенностями, составом вмещающих пород, гранулометрическими характеристиками зерен полезных минералов, количеством полезных компонентов и вредных примесей и особенностями их распределения по минеральным составляющим. Поэтому технологическим испытаниям руд обогатительными, химическими и металлургическими методами предшествует их детальное минералого-геохимическое изучение.

Технологические свойства полезных кристаллов и минералов определяются выходом полезного компонента из горной массы и его специфическими свойствами, установление которых и составляет содержание технологических испытаний.

Отбору технологических проб предшествует прогноз технологических свойств и вероятных технологических сортов полезного ископаемого, основанный на совокупности известных геологоминералогических данных.

В зависимости от масштабов технологических исследований и условий испытаний технологических проб они разделяются на лабораторные, полупромышленные и промышленные.

Лабораторные пробы отбираются на ранних стадиях разведочных работ, отличаются сравнительно небольшими массами (от десятков до сотен килограммов) и испытываются в лабораторных условиях на специальных установках. По результатам испытаний лабораторных проб решается вопрос о принципиальной возможности промышленного использования полезного ископаемого, выбирается метод и качественная схема переработки минерального сырья. В случаях, когда по результатам лабораторных испытаний выявляется несколько технологических типов минерального сырья, качественные схемы переработки выбираются для каждого из них. Лабораторные испытания позволяют получить только приближенные характеристики, но не обеспечивают данными для уве-

ренного суждения об экономической эффективности предполагаемых схем.

Полупромышленные пробы отбираются в процессе детальных разведочных работ для испытаний на укрупненных, непрерывно действующих установках. Массы полупромышленных проб обычно измеряются тоннами и зависят от производительности экспериментальной установки. По результатам полупромышленных испытаний уточняются качественные схемы, оптимальные технологические режимы переработки минерального сырья и устанавливаются их технико-экономические показатели.

Промышленные пробы отбираются при завершении детальных разведочных работ для испытаний на действующих обогатительных фабриках или металлургических заводах. Массы промышленных технологических проб достигают сотен тонн в зависимости от суточной производительности перерабатывающего предприятия. По данным промышленных испытаний уточняются технико-экономические показатели выбранных схем, корректируются технологические режимы переработки минерального сырья и выявляются «узкие» места технологического процесса в целом.

Необходимым условием технологических исследований является представительность проб не только по содержанию полезных компонентов, но и по физическим свойствам, минеральному составу, текстурным и структурным особенностям полезного ископаемого.

Оценка важнейших технологических свойств минерального сырья возможна также путем систематического отбора большого числа групповых проб, равномерно размещенных по всему изучаемому объему недр с последующим их испытанием в малогабаритной механизированной обогатительной лаборатории (МОЛМ). Эти лаборатории позволяют производить измельчение, классификацию по крупности, гравитационное, флотационное и электрическое обогащение проб весом до нескольких килограммов. С использованием МОЛМ появляется возможность накопления массовой информации для оценки пространственной изменчивости технологических свойств минерального сырья, которая может быть использована при составлении планов и разрезов обогатимости полезного ископаемого.

§ 7. Изучение горно-геологических условий эксплуатации месторождений

Горно-геологическими условиями эксплуатации определяются:

— способ вскрытия месторождения, системы его разработки и продуктивность эксплуатационных работ;

— уровень возможных потерь и разубоживания полезного ископаемого при его добыче;

— гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки месторождения;

— природные факторы, осложняющие проведение горно-добычных работ.

Изучение горно-геологических условий включает в себя оценку продуктивности месторождения (степени сосредоточения запасов в исследуемом объеме недр), условий залегания и морфологических особенностей промысленно-ценных скоплений полезного ископаемого (размеров, форм, углов падений, характера контактов с вмещающими породами), их внутреннего строения (анизотропии строения, степени и характера прерывистости), а также всех остальных факторов, определяющих условия проведения горно-добычных работ.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождений изучаются параллельно с проведением разведочных выработок и скважин. Оценка условий залегания, размеров, морфологических особенностей и строения залежей полезных ископаемых как горно-геологических факторов не требует организации специальных исследований, так как может быть выполнена по сводным геологическим разрезам и планам. Для выявления же гидрогеологических, инженерно-геологических условий месторождения и физико-механических свойств пород и руд, а также для изучения особо неблагоприятных условий, осложняющих проведение горных работ, необходима организация специальных наблюдений.

Для изучения гидрогеологических условий месторождения в процессе бурения разведочных скважин измеряются уровни подземных вод и их температура, отмечаются случаи самоизливания вод, поглощения промывочной жидкости, выхода газов из скважин, провала бурового инструмента, изменения степени трещиноватости пород по стволу скважины. При проходке пльвунов проводятся наблюдения за подъемом «пробок», т. е. масс водоносных песков, заполняющих нижние части скважин после удаления бурового снаряда. Высота «пробки» позволяет судить о степени пльвунности песка и о величине гидростатического напора.

По данным электрокаротажных работ методами ПС и КС оцениваются пористость, проницаемость и водоносность пород. Для определения направления и скорости движения подземных вод по одиночным скважинам используется метод заряженного тела (МЗТ) в гидрогеологическом варианте.

Места притоков подземных вод в скважину устанавливаются с помощью резистивиметрии или термометрии. Кроме того, резистивиметрия применяется для изучения скоростей фильтрации подземных вод, путем периодических замеров удельного сопротивления искусственно засоленной воды в скважине. Термический каротаж находит широкое применение при криологических исследованиях, в частности, для установления границ долготлетней мерзлоты.

Нейтронный гамма-каротаж (НГК) и нейтрон-нейтронный каротаж (ННК) позволяют расчленить геологические разрезы по их водообильности и оценить пористость водоносных (и нефтеносных) пород.

В процессе геологической документации разведочных горных выработок ведутся систематические гидрогеологические наблюдения за всеми водопроявлениями, фиксируются выходы трещинных

вод, определяются их дебиты, химический и газовый состав, температура, связь с породами различного литологического состава, трещинными структурами и тектоническими нарушениями. По производительности водоотливного насоса, скорости наполнения водосборника или по замерам скоростей движения воды в водоотводном кювете периодически определяется суммарная величина притока подземных вод в горные выработки. При проходке горных выработок фиксируются все случаи прорыва подземных вод и появления пльвунов, изменения цвета и состава вод, пучения, оползания и обрушения вмещающих пород. По коррозии рельсов, бетонных сооружений и спецодежды устанавливается степень агрессивности вод.

Инженерно-геологические наблюдения проводятся как в разведочных скважинах, так и в горных выработках. В скважинах, пробуренных по слабоцементированному и нецементированному породам, отмечаются их текстурные признаки, зернистость, консистенция, включения, признаки уплотнения и сопротивления микрогенерации. С помощью грунтоносов отбираются образцы (монолиты) на определение влажности, пористости, гранулометрического состава, фильтрационных свойств, углов естественного откоса, влагоемкости, водоотдачи и других физико-механических свойств.

При документации керна скальных пород отмечаются их твердость и крепость, сланцеватость, слоистость, трещиноватость, густота и ориентировка трещин относительно оси керна, наличие закарстованных участков и др.

В отбираемых образцах определяются упругие и пластические свойства, удельные и объемные массы, влажность, морозостойкость и др.

В условиях многолетней мерзлоты по скважинам проводится комплекс криологических наблюдений. Для лабораторных исследований отбираются образцы мерзлых и немерзлых пород, по которым определяется их суммарная влажность, льдистость, удельные и объемные массы, величины относительного сжатия при переходе от мерзлого состояния в талое. Прочность пород исследуется как по мерзлым, так и по оттаявшим образцам.

Инженерно-геологические наблюдения в горных выработках включают в себя изучение трещиноватости горных пород, для чего производятся массовые замеры элементов залегания трещин, подсчеты количества трещин на единицу объема пород, выявляется генезис трещин, описывается строение брекчированных и катаклазированных зон.

Подробнее с вопросами изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий разведываемых месторождений можно ознакомиться в книге В. Д. Бабушкина и др. [15].

При проведении разведочных работ в новых районах должны быть выполнены необходимые геологические исследования по выявлению и оценке запасов местных строительных материалов и водных ресурсов для питьевого и технического водоснабжения будущего горного предприятия.

единой легендой для всех участков разведываемого месторождения в красочном и штриховом вариантах.

Масштабы сводных геологических документов могут изменяться от 1:25 000 до 1:100, в зависимости от их содержания, вида полезного ископаемого, сложности строения и масштабов разведываемых объектов. Так, например, геологические карты и разрезы рудных полей составляются в масштабах 1:5 000—1:10 000, а геологические карты рудных месторождений или их участков — в масштабах 1:500—1:2 000. Погоризонтные планы и геологические разрезы, характеризующие строение отдельных рудных тел, выполняются в масштабах 1:200—1:1 000. Сводные документы, отражающие результаты разведки нефтяных и угольных месторождений, крупных железорудных бассейнов или месторождений минеральных солей, составляются в более мелких масштабах, а сводные документы по разведке месторождений драгоценных камней или пьезооптического сырья — в более крупных.

В зависимости от принятой системы разведочных работ выделяются главные и вспомогательные разрезы. При разведке месторождения системой штреков и ортов главный разведочный разрез совпадает с плоскостью горизонта, а при разведке гезенками или поверхностными буровыми скважинами, главным сечением является вертикальный поперечный разрез. Продольный разрез является главным только при разведке маломощных жильных тел.

В плоскости главного разведочного разреза производится оконтуривание залежей и определяются основные геологоразведочные параметры, необходимые для подсчета запасов. Поэтому составление сводных документов целесообразно начинать с составления главных разведочных разрезов, контролируя и увязывая их со вспомогательными разрезами, которые составляются по двум взаимноортогональным направлениям.

Планы и разрезы опробования составляются в масштабах 1:200—1:500. На них наносятся все разведочные выработки и скважины, обозначаются места отбора проб и указываются результаты их анализов. На планах опробования с учетом комплекса кондиционных требований проводится оконтуривание залежей полезных ископаемых, для чего на них наносятся важнейшие элементы геологического строения, определяющие закономерности локализации продуктивных залежей.

Проекция рудных тел на вертикальные или горизонтальные плоскости представляют собой сводные документы, на которых отражается пространственное размещение подсчетных блоков запасов разных категорий и участков, сложенных различными природными и технологическими типами минерального сырья. Обычно пологопадающие залежи проектируются на горизонтальные плоскости, а крутопадающие — на вертикальные.

Для иллюстрации особенностей пространственного размещения важнейших свойств полезных ископаемых при обобщении материалов широко используются приемы геометризации недр с помощью изолиний. Наиболее распространенными горно-геометрическими до-

кументами являются графики изолиний мощностей, содержаний или линейных запасов полезных ископаемых, планы отметок почвы или кровли продуктивных залежей, планы поверхностей тектонических нарушений, массивов интрузивных пород или других рудоконтролирующих элементов геологического строения (рис. 46).

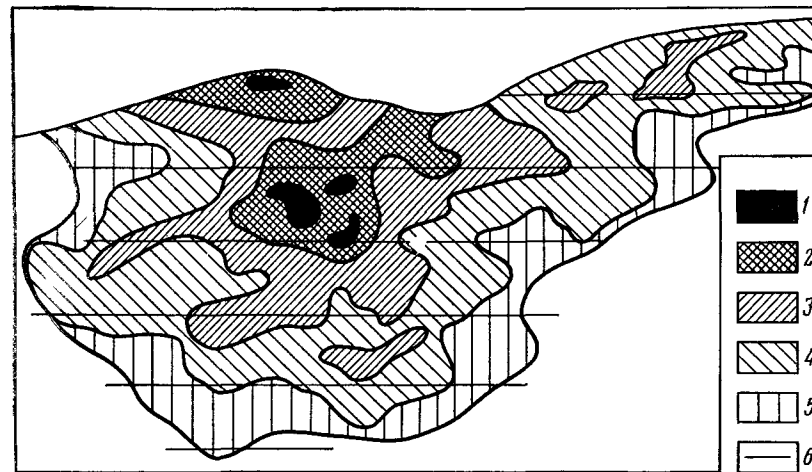


Рис. 46. Изолинии линейных запасов флюоритовой залежи (проекция на вертикальную плоскость).

Значения в процентах: 1 — более 1500, 2 — от 1000 до 1500, 3 — от 500 до 1000, 4 — от 100 до 500, 5 — от 10 до 100, 6 — горизонты горных работ

В качестве сводных документов используются блок-диаграммы, дающие наглядное пространственное представление о геологическом строении месторождения или его участка, или объемно-макетные модели. Объемно-макетные модели, выполненные из прозрачных материалов, имеют не только иллюстративное, но и познавательное значение, особенно если месторождение состоит из совокупностей многих, пространственно разобщенных залежей полезных ископаемых, условия локализации которых определяются влиянием общих рудоконтролирующих структур.

Глава VIII

Проектирование и организация геологоразведочных работ

В разведке, как и в любой отрасли производства, существует объективная необходимость управления всеми производственными процессами.

Важнейшие задачи управления сводятся к созданию оптимальных условий для производства и повышения эффективности геологоразведочных работ, реализации их результатов, разработки плановых заданий и путей их выполнения, темпов и пропорций развития отдельных видов геологоразведочных работ в зависимо-

сти от требований народного хозяйства. Одно из действенных форм управления является планирование геологоразведочных работ. Оно призвано выявлять целесообразные варианты развития отрасли, определять пути наиболее эффективного использования материальных трудовых и финансовых ресурсов, пути ликвидации неоправданных издержек и потерь

Проектирование геологоразведочных работ представляет собой технико-экономическую реализацию планов. При проектировании определяются методы и сроки проведения геологоразведочных работ, конкретизируются принимаемые технические решения, устанавливаются объемы и пространственное размещение отдельных видов работ и определяется их полная сметная стоимость

Организация геологоразведочных работ обеспечивает своевременную подготовку и проведение отдельных операций и видов работ, оптимальное размещение механизмов и оборудования, правильную расстановку и использование кадров

Вопросы управления, планирования и организации геологоразведочных работ составляют содержание специальных учебных дисциплин. Ниже они рассматриваются только в связи с вопросами проектирования геологоразведочных работ

§ 1. Управление геологоразведочными работами

Основной уставной геологической организацией в системе Министерств геологии СССР и союзных республик является территориальное геологическое управление, в состав которого входят более мелкие структурные подразделения: тресты, конторы, экспедиции и партии. В отраслевых министерствах руководствуют геологические управления, которые осуществляют руководство рудничной (шахтной) геологической службой трестов, комбинатов и горных предприятий. Учет результатов геологоразведочных работ, а также учет выявленных, разведанных и добываемых запасов осуществляется Всесоюзным геологическим фондом (ВГФ) Министерства геологии СССР, а утверждение разведанных запасов — Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР).

Научно-методическое руководство геологическими исследованиями и техническое руководство геологоразведочными работами проводит производственно-техническая служба, а составление перспективных и текущих планов, экономический контроль и анализ деятельности геологоразведочных подразделений, возлагается на экономическую службу геологических организаций.

В условиях непрерывного увеличения масштабов и совершенствования методов геологоразведочных работ, при повышении издержек на их проведение и возрастающих требованиях к качеству, количеству и геологическому размещению запасов полезных ископаемых необходимо коренное совершенствование системы планирования и руководства геологоразведочной службой. С этой целью при Министерстве геологии СССР создается отраслевая автоматизи-

рованная система управления и обработки геологоразведочной информации «Асу—Геология»

Система «Асу—Геология» создается как среднее звено в общегосударственной автоматизированной системе (ОГАС) и автоматизированной системе плановых расчетов. Нижними ее звеньями будут автоматизированные системы управления министерств и геологических управлений союзных республик и территориальных геологических управлений (АСУ—геологоуправления). На еще более низких уровнях — в производственных геологических объединениях, экспедициях и партиях также создаются информационно-вычислительные центры. Каждое звено этой системы будет представлять всю необходимую информацию на более высокий уровень.

Математические модели и функциональный образ управления отраслью создаются с применением методов многомерной статистики, теории статистических решений, геостатистики, геометризации недр, методов накопления, систематизации и хранения информации, а также других математических методов и их приложений. Для передачи и обработки информации в автоматизированных системах управления используются телетайпы, фототелеграф, электронно-вычислительные и аналоговые машины, современные методы регистрации принятой информации на перфокартах, перфоленгах, магнитных лентах и др.

Система «АСУ—Геология» состоит из основы и функциональной части. В основу АСУ входит модель функционирования отрасли, информационная база, технические средства, методическое и математическое обеспечение комплекса

Функциональная часть состоит из подсистем «Перспективное и долгосрочное планирование минерально-сырьевой базы СССР» и «Управление и экономика». Первая подсистема призвана сопоставлять состояние минерально-сырьевой базы СССР с текущими и перспективными потребностями народного хозяйства и вырабатывать перспективные планы геологоразведочных работ, обладающие наибольшей народнохозяйственной эффективностью, а вторая подсистема — конкретизировать и реализовывать оптимальные перспективные планы геологоразведочных работ

Автоматическая система управления на уровне территориального управления геологии (АСУ—геологоуправления) состоит из комплекса производственно-экономических подсистем и комплекса автоматизированных подсистем управления «Геология» («АПУ—Геология»)

В функции комплекса производственно-экономических подсистем входит:

— технико-экономическое планирование геологоразведочного производства,

— оперативное управление производством;

— управление материальными и трудовыми ресурсами;

— оптимальное регулирование технологических процессов при выполнении буровых, горнопроходческих и других видов работ.

Комплекс «АСУ—Геология» получает исходную геологоразведочную информацию, обрабатывает и анализирует ее в геологическом и экономическом аспектах, что позволяет эффективнее планировать дальнейшие геологоразведочные работы и оказывает воздействие на производственно-экономические решения. Создание системы «АСУ—Геология» обеспечит принципиально новый подход к управлению отраслью, поможет всемерному развитию качества проводимых геологоразведочных работ, а также наиболее полному удовлетворению потребностей народного хозяйства и обороны страны в разведанных запасах полезных ископаемых.

§ 2. Планирование геологоразведочных работ

Планирование геологоразведочных работ включает в себя составление перспективных, текущих и оперативных планов. Перспективное планирование охватывает сроки до пяти и более лет, текущее планирование — от месяца до года, а оперативное планирование — менее одного месяца. Перспективные и текущие планы могут составляться по отраслевому и по территориальному принципам. Геологические организации разрабатывают планы по всей отрасли в целом, по рудным регионам и объектам, по видам полезных ископаемых, по видам и стадиям работ. Перспективное планирование геологоразведочных работ учитывает непрерывно возрастающую потребности народного хозяйства в минерально-сырьевых ресурсах, необходимость повышения качества минерального сырья и улучшения географического размещения месторождений.

Текущие планы геологических организаций разрабатываются с поименным перечнем всех разведываемых месторождений и установлением сроков завершения стадий геологоразведочных работ. Планирование и учет затрат производится отдельно по каждой стадии геологоразведочных работ, по каждому виду полезных ископаемых, по отдельным месторождениям и районам.

Разработка планов геологоразведочных работ производится в таком же порядке, как это установлено для всей системы народнохозяйственного планирования. Утвержденные Советом Министров СССР контрольные цифры развития геологоразведочных работ сообщаются по подчиненности всем звеньям геологической службы. Руководствуясь этими цифрами, низовые геологические организации — партии, экспедиции и геологические управления составляют проекты перспективных и текущих планов геологоразведочных работ. На основании этих планов в каждом вышестоящем звене составляются сводные проекты планов, а окончательный сводный проект плана геологоразведочных работ направляется в Госплан СССР для включения в проект народнохозяйственного плана страны. После рассмотрения и утверждения народнохозяйственного плана в Совете Министров СССР он приобретает силу юридического закона, а планы геологоразведочных работ — значение директивных планов, обязательных к исполнению всеми геологоразведочными организациями.

В состав директивного плана геологоразведочных работ входит

1. План утверждения запасов в ГКЗ СССР (по важнейшим видам минерального сырья).
2. Объем геологоразведочных работ в денежном выражении.
3. План внедрения передовой техники, автоматики и технологии
4. План по АСУ и вычислительной технике.
5. План по труду и заработной плате.
6. План по прибыли и себестоимости геологоразведочных работ.
7. План капитального строительства.
8. План материально-технического снабжения.
9. Финансовый план.

На основе директивного плана разрабатывается план геологоразведочных работ. Важнейшим показателем этого плана является геологическое задание — конкретная условная установка определяющая объект работ, необходимую стадию его изучения, общую методику его исследований, требования к конечным результатам и сроки выполнения работ. Геологические задания устанавливаются в натуральном и денежном выражении.

После утверждения проекта и сметы геологоразведочных работ составляются титульные списки объектов разведочных работ с указанием по каждому из них полной сметной стоимости, а также объемов, выполненных к началу года и установленных на планируемый год. Титульные списки являются основными документами плана, которые способствуют правильному распределению ассигнований по отдельным объектам и концентрации средств на важнейшие из них.

Средства на выполнение геологического задания выдаются только за полностью завершённые этапы геологических заданий, а размер этих средств определяется проектно-сметной документацией на производство геологоразведочных работ.

§ 3. Проектирование геологоразведочных работ

Проект геологоразведочных работ составляется на основании планового задания, содержание которого выражено показателями директивного плана. Главным плановым показателем является геологическое задание в натуральном и денежном выражении (прирост запасов и сумма ассигнований на выполнение геологоразведочных работ). Проект является основным техническим документом, определяющим содержание, методы, технические средства, пространственное размещение, сроки и последовательность проведения всех видов геологоразведочных работ. Проект и смета к нему должны обеспечивать наиболее прогрессивные методы разведки, применение новой техники и технологии геологоразведочных работ для эффективного выполнения государственных заданий с минимальными затратами материальных и людских ресурсов.

ФОРМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Министерство (управление геологии союзной республики)	· ·
Объединение, управление, трест	· · · · ·
Экспедиция	· · · · ·
Партия	· · · · ·

Утверждаю
(руководитель организации)

Раздел плана	· · · · ·
Полезное ископаемое	· · · · ·
Наименование объекта	· · · · ·
Местонахождение объекта	· · · · ·

Геологическое задание

На
(наименование работ, на которые выдано задание)

Основание выдачи геологического задания
(наименование и дата документа)

1. Целевое назначение работ, пространственные границы объекта, основные оценочные параметры
2. Геологические задачи, последовательность и основные методы их решения
3. Ожидаемые результаты и сроки выполнения работ (с указанием форм отчетной документации)

Главный геолог

единицах разведанных (или предварительно оцененных) запасов полезного ископаемого, а также всех полезных компонентов по категориям их разведанности. Дополнительно излагаются требования к качеству минерального сырья, горно-геологическим условиям эксплуатации месторождения, приводятся сведения о возможных потребителях сырья и другая информация, на основе которой должны оцениваться результаты геологоразведочных работ.

Геологическое задание формулируется с полнотой, обеспечивающей возможность проверки и оценки его выполнения в качественном и количественном отношении. Особое внимание обращается на четкое определение пространственных границ разведываемых объектов, целевого назначения планируемых работ, технических средств, основных методов проведения разведочных работ и требований к их конечным результатам.

Географо-экономический очерк содержит сведения, необходимые для обоснования методики и организации геологоразведочных работ, расчета технико-экономических показателей их проведения и геолого-экономической оценки месторождения. В нем приводятся сведения о географическом положении и административной принадлежности района работ, его физико-географических транспортных и энергетических условиях, водных и лесных ресурсах, промышленной и сельскохозяйственной освоенности.

Проекты и сметы к ним составляются отдельно по каждому объекту разведки на срок, необходимый для выполнения геологического задания, связанного с самостоятельной стадией геологоразведочных работ. Если этот срок выходит за пределы календарного года, проект составляется на несколько лет, но, как правило, не более чем на три года.

Проекты утверждаются вышестоящими геологоразведочными организациями. По наиболее важным объектам — Министерством геологии СССР, по объектам со сметной стоимостью работ выше 1500 тыс. руб. — республиканскими министерствами или главными управлениями союзного министерства, а по остальным объектам — геологическими территориальными управлениями и крупными экспедициями.

Проекты состоят из графических материалов, таблиц и пояснительной записки к ним. Основные положения, методические и технические решения проектов отображаются на картах и чертежах, на которых обосновываются правильность постановки задач, выбор методов разведки, определяются и размещаются объемы геологоразведочных работ. Смета к проекту составляется на весь объем разведочных и иных видов работ, необходимых для выполнения геологического задания.

Проекты геологоразведочных работ разделяются на две части: геолого-методическую и производственно-техническую.

Геолого-методическая часть проектов состоит из:

- геологического задания;
- географо-экономического очерка;
- обзора, анализа и оценки результатов ранее выполненных работ;
- геологической характеристики объекта работ;
- описания методики и объемов проектируемых работ.

Геологическое задание, установленное планом геологоразведочных работ, приводится по разработанной форме (табл. 7). В задании указываются: наименование организации, отрасль и вид полезного ископаемого, документы, послужившие основанием для постановки работ, географическое положение и границы объекта, сроки выполнения работ, географическое положение и границы объекта, сроки выполнения работ и сроки представления отчетных материалов в ГКЗ СССР, ТКЗ или НТС геологического управления. В задании четко определяются требования к конечным результатам работ с указанием качественных и количественных критериев его выполнения. Качественные критерии формулируются как задачи геологоразведочных работ по выявлению особенностей рудоносности или рудоконтроля конкретных геологических структур, качественной и технологической характеристик полезного ископаемого, горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации объектов или его участка, в соответствии с действующими требованиями к содержанию и результатам работ по геологоразведочным стадиям. Количественные критерии устанавливаются в натуральном выражении, т. е. в весовых

При характеристике физико-географических условий основное внимание уделяется описанию форм рельефа, гидросети и рассмотрению климатических условий района. Указываются абсолютные отметки рельефа, относительные превышения, крутизна склонов, залесенность, заболоченность, условия проходимости и обнаженности. Рассматривается гидродинамический режим и судоходность рек, расходы и уровни вод в меженный и паводковый периоды, возможность использования рек для питьевого и технического водоснабжения. Приводятся данные о среднегодовых и среднемесячных температурах, продолжительности периодов с положительной и отрицательной среднесуточной температурой, количестве осадков, регулярности их выпадения и распределения по месяцам, сведения о наличии и режиме многолетней мерзлоты. При описании транспортных условий определяются расстояния от объекта работ до ближайших железнодорожных станций, пристаней, аэродромов, шоссейных магистралей. Описывается состояние дорог и обосновывается необходимость дорожного строительства или применения специальных видов транспорта (вездеходов, самолетов, вертолетов, выючного транспорта и др.).

Энергетические условия рассматриваются с позиций получения готовой электроэнергии (электростанции и высоковольтные линии) для проведения геологоразведочных работ, а при их отсутствии — исходя из необходимости строительства собственной электростанции, возможностей использования топливных и других естественных ресурсов района (углей, торфа, сланцев, леса, деловой и крепейной древесины, строительных материалов и др.).

Первостепенное внимание уделяется характеристике промышленной освоенности района, наличию в нем горных предприятий, особенно добывающих и перерабатывающих данный вид минерального сырья. При описании сельского хозяйства района выясняется наличие на площади проектируемых работ сельскохозяйственных угодий и оценивается возможный ущерб совхозам и колхозам в связи с проведением геологоразведочных работ.

Географо-экономические условия района работ иллюстрируются обзорными картами, масштабными схемами или другими графическими документами, на которых показываются объекты работ, главные населенные пункты, пути сообщения и средства связи, важнейшие горно-промышленные и сельскохозяйственные объекты, линии электропередач и др.

В заключении очерка обосновывается необходимость применения специальных коэффициентов к заработной плате и других правочных коэффициентов к действующим нормативам

Обзор, анализ и оценка результатов ранее проведенных работ приводятся в проекте лишь по тем работам, которые непосредственно предшествовали составлению проекта или имеют к нему непосредственное отношение. В этом разделе перечисляются сведения о ранее проводившихся геологических съемках, поисках, геофизических, геохимических и прочих специализированных исследованиях. Приводится оценка достоверности и кондиционности

существующих геологических, гидрогеологических и других карт района и объекта проектирования. Оцениваются результаты работ всех предшествующих стадий, их качество, методика и эффективность, достоверность выявленных запасов и перспективы их увеличения, а также рекомендации и заключения, которые были сделаны НТС, ГКЗ СССР или ТКЗ при рассмотрении и утверждении результатов ранее выполненных работ. К этому разделу прилагаются картограммы изученности района и объекта проектирования, перечни рукописных и изданных текстовых, табличных и картографических материалов с указанием авторов, года издания и места хранения оригинала.

Геологическая характеристика объекта работ содержит сведения по геологии района, рудного поля и месторождения, вещественному составу полезного ископаемого, закономерностям его пространственного размещения в конкретных геологических структурах, гидрогеологическую характеристику объекта работ и краткую историю геологического развития разведываемого участка. Содержание этого раздела может меняться в зависимости от вида полезного ископаемого и целевого назначения проекта геологоразведочных работ.

Геологическое строение района и рудного поля, особенности их металлогении и полезные ископаемые района описываются кратко, с детальностью, достаточной для понимания положения рудного поля в региональной структуре и положения месторождения в структуре рудного поля.

В характеристике геологического строения месторождения приводится краткое литолого-стратиграфическое описание разреза осадочных, пирокластических, эффузивных и метаморфических пород, петрографического состава и условий залегания изверженных пород, структуры месторождения и рудоконтролирующей роли отдельных структурных элементов. Более детально описываются морфологические особенности и зональность рудоносных образований на различных уровнях их строения, минеральный и химический состав полезного ископаемого, его структурные и текстурные особенности, природные типы руд и признаки гипергенной зональности месторождения. В этом же разделе приводится гидрогеологическая характеристика района и месторождения, природные (ландшафтно-географические) условия ведения работ, соображения о генетическом типе месторождения и закономерности пространственного размещения полезного ископаемого, определяющие комплекс его поисково-оценочных критериев. Особо отмечаются все неясные вопросы геологического строения, требующие уточнения в процессе разведочных работ, и оцениваются перспективы отдельных участков, зон, флангов и глубоких горизонтов месторождения.

Основные особенности геологического строения района, рудного поля и месторождения иллюстрируются геологическими картами и разрезами к ним, фотографиями, зарисовками и другими графическими документами.

Описание методики и обоснование объемов проектируемых работ является важнейшим разделом проекта. На основании анализа и обобщения данных по геологическому строению, природным условиям и изученности объекта работ в нем приводятся выводы о вероятной промышленной значимости месторождения, составляется геолого-прогнозная основа проекта, конкретизируются отдельные задачи, связанные с выполнением геологического задания, обосновывается методика, определяются виды и объемы геологоразведочных работ. Составление этого раздела включает последовательную разработку следующих основных вопросов:

— создание геолого-прогнозной основы проекта разведочных работ с выделением участков и зон, различных по перспективности выявления запасов полезного ископаемого;

— конкретизация задач проектируемых работ и размещение ожидаемого прироста запасов по наиболее перспективным объемам недр;

— выбор комплекса методов и технических средств решения проектных задач, геометрии разведочной сети и участков детализационных разведочных работ;

— выбор методических и технических вариантов проектных решений;

— определение необходимых и достаточных объемов разведочных работ, технологии и организации их проведения.

Геолого-прогнозная основа для проектирования разведочных работ создается в результате анализа и обобщения всех известных геолого-геофизических и минералого-геохимических данных, поисково-оценочных критериев и признаков промышленной минерализации с учетом установленных закономерностей пространственного размещения полезного ископаемого в конкретных геологических структурах.

В зависимости от размеров объекта проектирования и целевого задания проекта (стадии геологоразведочных работ) масштабы и детальность геолого-прогнозных карт (планов), разрезов и проекций могут существенно различаться. На геолого-прогнозной основе выделяются площади возможной, вероятной и установленной продуктивной минерализации, предполагаемые и установленные продуктивные зоны или толщи, предполагаемые и установленные продуктивные залежи. При наличии достаточных данных в контурах каждой зоны или залежи могут выделяться подзоны и участки различной перспективности или продуктивности.

Геолого-прогнозные карты (планы), разрезы и проекции способствуют уверенному выделению наиболее перспективных и продуктивных объемов недр в пределах объектов разведочных работ, пространственному размещению ожидаемого прироста запасов и выделению участков максимальной концентрации разведочных работ.

При проектировании предварительной разведки на геолого-прогнозной основе выделяются предполагаемые и установленные

продуктивные зоны, а иногда и зоны с неясными перспективами (рис. 47, 48). Основной объем разведочных работ размещается в пределах выявленных и предполагаемых продуктивных зон. Ра-

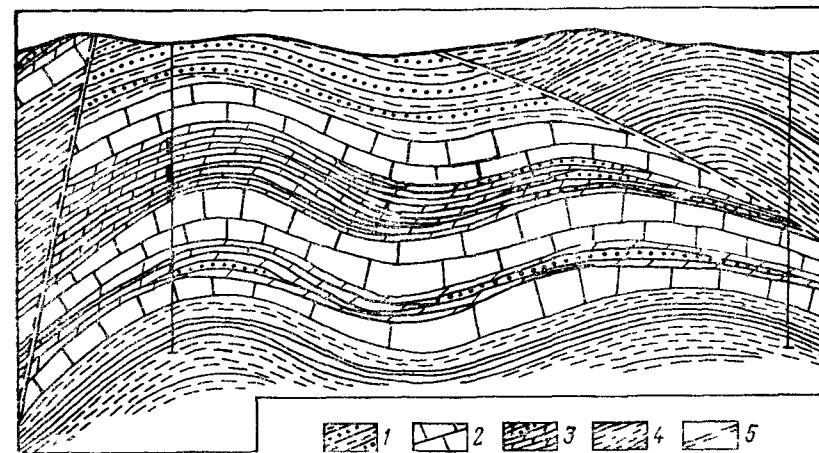


Рис 47 Схематический геологический разрез стратиформного полиметаллического месторождения.

1 — песчано алевролитовая толща, 2 — массивные известняки, 3 — рудовмещающие тонко слоистые доломиты, переходящие на востоке в песчано-доломитовые породы, 4 — глинистые сланцы, 5 — тектонические нарушения

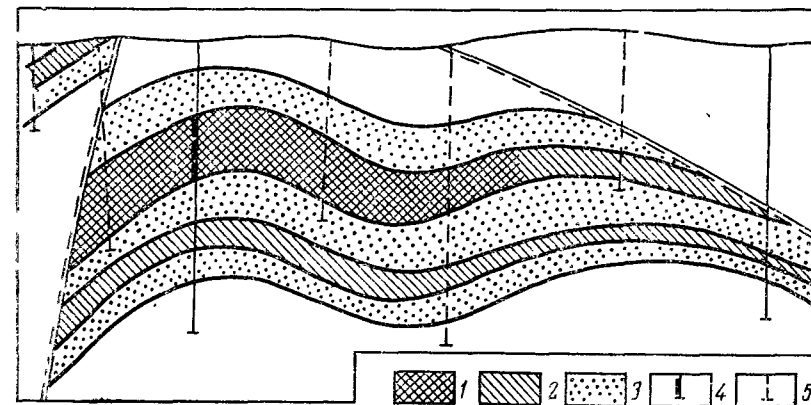


Рис 48 Геолого-прогнозная схема для проектирования предварительной разведки стратиформного полиметаллического месторождения.

1 — продуктивная толща установленная, 2 — продуктивная толща предполагаемая; 3 — площадь возможного развития рудных образований, 4 — скважины и рудные интервалы, 5 — проектируемые скважины

боты по выборочной детализации условий залегания, морфологии и строения полезного ископаемого и по изучению его технологических свойств проектируются в пределах установленных продуктивных зон. Значительно меньший объем разведочных работ проектируется для оценки зон с неясными перспективами, и только

единичные (контрольные) пересечения располагаются на перспективных площадях за пределами упомянутых зон.

При проектировании детальной разведки на геолого-прогнозной основе выделяются установленные и предполагаемые продуктивные залежи, а в случаях их малых размеров и сложного строения — продуктивные зоны или толщи (рис. 49, 50). Основные объемы разведочных работ проектируются в пределах предполагаемых продуктивных залежей (или в пределах установленных

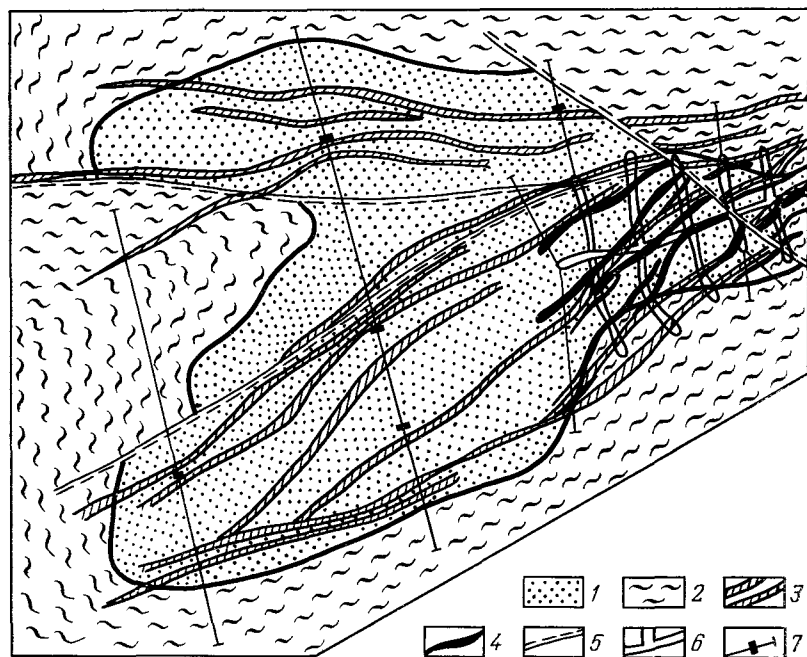


Рис. 49. Схематический геологический план разведочного горизонта оловорудного месторождения.

1 — рудовмещающие песчаники; 2 — глинистые сланцы; 3 — дайки лампрофиров, контролирующее положение минерализованной зоны; 4 — выявленные рудные тела, 5 — тектонические нарушения, 6 — горные выработки; 7 — разведочные разрезы, отдельные скважины и рудные интервалы

продуктивных зон), а детализационные работы — в пределах установленных продуктивных залежей или наиболее типичных участков выявленных продуктивных зон. Для проектирования эксплуатационной разведки используется не геолого-прогнозная, а геометризованная геолого-маркшейдерская основа.

Выбор комплекса методов и технологических средств решения проектных задач производится с учетом целевого задания проекта, вида полезного ископаемого, геологических и ландшафтно-географических условий объекта проектирования. Наиболее широко распространенным техническим

средством разведки являются буровые скважины, однако не во всех случаях они обеспечивают получение всей информации, необходимой для уверенной геолого-экономической оценки месторождения. Проведение горно-разведочных выработок в сочетании с буровыми скважинами проектируется при:

— сложном геологическом строении месторождения и труднокартируемых рудоконтролирующих структурах;

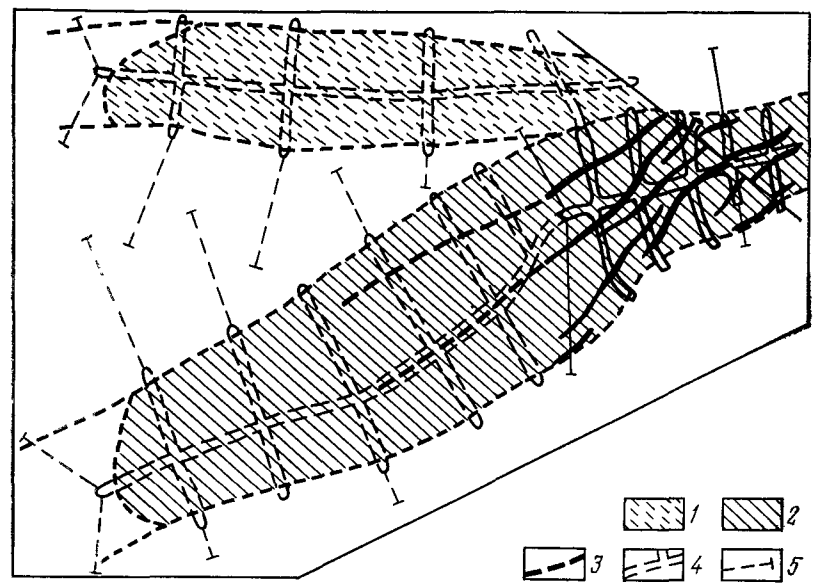


Рис. 50. Геолого-прогнозная схема для проектирования детальной разведки оловорудного месторождения.

1 — продуктивная зона предполагаемая; 2 — продуктивная зона установленная; 3 — рудные тела предполагаемые, 4 — проектируемые горные выработки, 5 — проектируемые скважины

— малых размерах, сложной морфологии и строении отдельных скоплений полезных ископаемых, обуславливающих сложность горно-геологических условий эксплуатации месторождения;

— склонности полезного ископаемого (или вмещающих жильных пород) к избирательному истиранию;

— необходимости отбора технологических проб большого веса.

Контрастность физических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород, обеспечивает широкие возможности для применения методов подземной геофизики как основных разведочных средств вместо части разведочных выработок или скважин. В комплекс разведочных средств должны входить также геохимические методы опробования всех проектируемых скважин и горных выработок для изучения геохимических полей разведываемого объекта.

При выборе методов и способов опробования полезных ископаемых все более широкое применение находят ядерно-физические

методы, которые следует рассматривать как ведущие методы опробования в ближайшем будущем.

Выбор геометрии разведочной сети определяется целевой задачей проекта, природными особенностями объекта проектирования и выбранными техническими средствами разведки. На ранних стадиях разведочных работ геометрия сети обосновывается по аналогии с месторождениями данного геолого-промышленного типа, а по мере детализации сведений о данном месторождении — с использованием информации, полученной в результате предыдущих разведочных работ и обработанной с помощью современных геолого-математических методов.

Выбор методических и технических вариантов проектных решений производится с учетом их геологической информативности, экономической эффективности, технологии производства и безопасности проведения работ.

При проектировании разведки подземными горными выработками возникают варианты различного расположения горизонтов горных работ и вскрытия месторождения (стволоми шахт, одной или несколькими штольями и др.), варианты разведочных систем, проходки рудных или полевых штреков и т. д. При проектировании буровой разведки возможны варианты применения различных видов буровых скважин, использования различных наконечников и диаметров, варианты кернового и бескернового, многозабойного, поверхностного или подземного бурения. Еще больше вариантов возникает при проектировании горно-буровых систем разведочных работ (варианты соотношения горных и буровых работ, взаимозамены разведочных горных выработок и скважин и т. д.).

Если решение поставленных в проекте задач возможно несколькими вариантами, а целесообразность применения того или иного варианта не очевидна, необходимо сравнение конкурирующих вариантов по их геологической и экономической эффективности.

Общепризнанных методов количественного выражения геологической эффективности (информативности) вариантов разведочных решений пока не разработано. В принципе это возможно с помощью системы количественных показателей степени разведанности запасов (погрешностей геометризации и оценок среднеблочных значений наиболее изменчивых геологоразведочных параметров) или с применением математического аппарата теории информации (например, энтропии как меры количества информации). Отсутствие методов количественной оценки информативности разведочных вариантов затрудняет их сравнение, ограничивая решение задачи случаем, когда геологическая информативность сравниваемых вариантов качественно оценивается как одинаковая.

Количественная оценка экономической эффективности конкурирующих вариантов возможна по себестоимости геологоразведочных работ или по приведенным затратам с учетом или без учета фактора времени. Поскольку полученные экономические характеристики заметно обесцениваются вследствие неопределенности меры геологической эффективности сравниваемых вариантов, на

практике в большинстве случаев удовлетворяются сравнением вариантов только по их себестоимости. Оценка по приведенным затратам практически целесообразна при сравнении вариантов использования различных технических средств, в том числе новой техники для выполнения одной и той же разведочной операции (бурения скважины, проходки горной выработки, опробования разведочного пересечения и др.) и при сопоставлении принципиально различных вариантов разведочных работ.

Приведенные затраты представляют собой сумму текущих затрат, т. е. себестоимости c_i и единовременных капитальных вложений K_i , приведенных к одинаковой размерности, в соответствии с отраслевым нормативным коэффициентом эффективности капитальных вложений E_n .

Наилучшим вариантом использования технических средств (при условии достижения одинакового эффекта) является вариант, обеспечивающий минимум приведенных затрат:

$$c_i + E_n K_i \rightarrow \min. \quad (8.1)$$

При расчетах экономической эффективности вариантов показатели c_i и K_i могут применяться как в полной сумме капитальных вложений и себестоимости за весь период работ (или за год), так и в виде удельных величин в расчете на единицу работ. Например, если проектная себестоимость бурения 1 пог. м скважины твердосплавными коронками составляет 14 руб. в год при удельных капитальных вложениях 0,3 руб./м, а себестоимость 1 пог. м алмазного бурения комплектом технических средств ССК-598 руб. при удельных капитальных вложениях 0,39 руб/м то, принимая $E_n = 0,12$, получим

$$\frac{14 + (0,12 \cdot 0,3)}{0,504} > \frac{8 + (0,12 \cdot 0,39)}{0,372}$$

Следовательно, вариант бурения алмазными коронками обеспечивает меньшую величину приведенных затрат и является более эффективным.

Учет фактора времени при сравнении различных вариантов разведки достигается путем умножения общих или приведенных затрат по каждому варианту на коэффициент приведения $(1 + E_n)^t$, где t — период времени, необходимый на выполнение всех видов работ по данному варианту в годах.

Фактор времени учитывается только тогда, когда длительность разведочных работ измеряется годами, а проектируемые варианты резко различаются по срокам выполнения.

В большинстве случаев сравнение конкурирующих вариантов производится прежде всего по ожидаемой геологической эффективности с учетом возможного ущерба, который может быть причинен сельскому, лесному или другим видам народного хозяйства в связи с выполнением проектируемых геологоразведочных работ.

Наиболее часто возникает необходимость в сравнении и обосновании вариантов

- систем разведочных работ;
- вскрытия месторождения различными горными выработками,
- применения различных технических средств;
- осуществления различных проектных решений.

Сравнение конкурирующих систем разведочных работ целесообразно, например, при разведке мощных штокверкоподобных залежей со сложным внутренним строением при значительной их протяженности по падению. Конкурирующими здесь являются системы горизонтальных и вертикальных разрезов. Первая позволяет разрядить сеть горных выработок на горизонтах, широко заменяя их подземными скважинами, но требует уменьшения расстояний между горизонтами. Вторая приводит к сгущению сети вертикальных разрезов и к уменьшению количества горизонтов горных работ, но требует проходки дополнительных квершлага для бурения скважин.

Сравнения вариантов применения различных технических средств необходимо в случаях сравнительно простого геологического строения месторождения, когда по буровым скважинам могут быть получены удовлетворительные исходные данные, но буровая разведка из-за влияния неблагоприятных факторов заметно удорожается. Так, например, при разведке рудных месторождений в районах с резко расчлененным рельефом затраты на строительство подъездных путей и площадок для каждой буровой вышки резко удорожают себестоимость буровых работ. При разведке россыпей и некоторых штокверков возникает необходимость сравнения вариантов разведки колонковым и ударно-канатным бурением, а при изучении поверхности месторождений — вариантов вскрытия рыхлых отложений канавами, шурфами или поисково-картировочными скважинами. Выбор и сравнение вариантов различных проектных решений частных разведочных задач (бурение с поверхности или из подземных выработок, бурение нескольких самостоятельных скважин или многозабойное бурение из одной скважины и т. д.) производится также на основе сопоставления их ожидаемой геологической и экономической эффективности. Как правило, предпочтение отдается вариантам, обеспечивающим более высокую геологическую эффективность, если же она оценивается примерно одинаково, выбор варианта производится по себестоимости работ.

При вариантах бурения с поверхности себестоимость работ возрастает пропорционально общему метражу скважины. В оценке себестоимости поверхностного бурения учитываются затраты на сооружение площадок и подъездов к ним, удорожание работ в зимнее время и др. При вариантах подземного бурения затраты возрастают, главным образом, за счет проходки специальных выработок — квершлага и камер.

Экономическим критерием оптимальности вариантов поверхностного бурения и подземного будет направление неравенства

$$\left[\left(\frac{Z_k}{l} + c_1 \right) \left(\frac{Z_n}{L} + c_2 \right) \right] l \leq \left(\frac{Z_n}{L} + c_3 \right) (L - l), \quad (8.2)$$

- где Z_k — затраты на проходку квершлага и камеры;
 c_1 — себестоимость бурения 1 пог. м подземной скважины;
 Z_n — затраты на строительство подземных путей и площадки на поверхности;
 l — глубина подземной скважины;
 L — глубина поверхностной скважины;
 c_2 — себестоимость бурения 1 пог. м поверхностной скважины в интервале, соответствующем l ;
 c_3 — себестоимость бурения 1 пог. м поверхностной скважины в интервале от поверхности до горизонта горных работ.

Если левая часть неравенства больше правой, то при одинаковой геологической эффективности поверхностного и подземного вариантов принимается поверхностный вариант бурения и наоборот. Однако если окажется, что квершлага, проходимые для бурения подземных скважин, будут иметь, кроме того, поисковое значение, способствуя выявлению дополнительных рудных скоплений на горизонте горных работ, вопрос о преимуществе поверхностного варианта должен быть пересмотрен. Он может быть принят только в том случае, если будет решено, что дополнительные запасы, выявленные висячем боку залежи поисковыми квершлагами не окупятся затратами, связанными с удорожанием подземного варианта бурения.

При сравнении вариантов двухзабойного бурения или бурения двух самостоятельных скважин, расчет их экономической эффективности можно произвести с помощью неравенства:

$$Z_m + c_0 l \leq Z_n + c_n (L - l), \quad (8.3)$$

- где Z_m — затраты, связанные с ремонтом бурового агрегата при бурении двух скважин;
 c_0 — себестоимость бурения 1 пог. м скважины в интервале от поверхности до отметки принудительного искривления скважин;
 Z_n — затраты на мероприятия, связанные с принудительными искривлениями ствола скважины (с учетом простоя скважины);
 l — метраж скважины от поверхности до отметки принудительного искривления;
 L — метраж второй самостоятельной скважины;
 c_n — себестоимость бурения 1 пог. м принудительно искривленной скважины.

Необходимые и достаточные объемы работ, технология и организация их проведения определяются после выбора и обоснования наиболее эффективного варианта разведки с учетом ее целей и задач, технологических возможностей геологоразведочной организации, природных и географо-экономических условий разведываемого месторождения

В соответствии с принятым вариантом разведки на геологическом прогнозной основе месторождения размещаются все проектируемые горные выработки и скважины, объемы геофизических, геохимиче-

ских, гидрогеологических, инженерно-геологических и других видов работ. Выбираются и обосновываются методы геологической и геофизической документации и опробования горных выработок и скважин, места отбора и геометрия проб, устанавливаются диаметры скважин, виды и методы контроля результатов опробования горных выработок и скважин, анализов и испытаний проб, методы изучения физических и инженерно-геологических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород. Устанавливаются возможности использования подземной геофизики и геохимических методов для оконтуривания промышленных скоплений полезных ископаемых и прогноза оруденения по флангам месторождения и на его глубоких горизонтах. Проектируется комплекс гидрогеологических работ для оценки степени обводненности месторождения, расчета ожидаемых водопритоков в горные выработки, выявления источников питьевого и технического водоснабжения, а также комплекс наблюдений для выявления горно-геологических условий эксплуатации месторождения.

С учетом запроектированной системы разведки рекомендуется способ подсчета запасов, излагаются соображения по поводу выбора оптимального комплекса кондиционных показателей, методике вычисления исходных данных и средних геологоразведочных параметров к подсчету запасов. Описываются разведанность и ожидаемая геологическая эффективность запроектированных геологоразведочных работ, блокировка запасов и их распределение по категориям.

В производственно-технической части проекта конкретизируются технология проведения и организация геологоразведочных работ, выполняются технические расчеты и устанавливаются технико-экономические показатели по всем видам работ. Определяются объемы и методы вспомогательных работ, решаются вопросы быта и техники безопасности, устанавливается комплекс мероприятий по гражданской обороне и охране окружающей природы.

Содержание производственно-технической части зависит от комплекса запроектированных работ. В общем случае она включает общий раздел, разделы по конкретным видам проектируемых работ и раздел по организационно-производственным и хозяйственным вопросам.

В общем разделе приводится характеристика общей организации работ, расположение без снабжения, производственных мастерских, лабораторий и других служб. Описываются способы связи с базами и вышестоящими геологическими организациями.

В разделе «Поисково-съёмочные работы» приводятся объемы, виды и масштабы поисково-съёмочных работ по изучению поверхности и ближайших флангов месторождения с указанием площадей по категориям сложности, объемы поверхностных горных работ, картировочного бурения и геофизических съемок (по видам геофизических работ) последовательность их проведения, необходимое техническое оборудование и основные технико-экономические показатели поисково-съёмочных работ.

В разделе «Геофизические работы и геохимические исследования» рассматриваются объемы руднично-геофизических, скважинных, специализированных геофизических и геохимических исследований по видам и методам, с распределением по техническим условиям их проведения, Техника проведения каждого вида работ, применяемые приборы, оборудование и их технические показатели, Сводная таблица технико-экономических показателей по всем видам геофизических работ. Приводятся объемы геохимического опробования и других исследований в горных выработках и скважинах, условия и техника их проведения, обработки и анализа, применяемое оборудование, основные технико-экономические показатели по всем видам геохимических исследований.

В разделе «Горно-проходческие работы» приводятся объемы подземных горных работ по типам выработок и по категориям пород, способ ведения работ, проектируемые горные механизмы, условия их применения и технические показатели. Рассчитываются глубины, количество и комплексы шпуров, типы ВВ и способы взрывания, мощности, производительность и типы компрессоров, способы проветривания выработок, объемы работ по уборке и откатке породы, способы уборки и откатки, проектируемое оборудование, объемы работ по креплению горных выработок, способы и конструкция крепления, организация водоотлива, типы и производительность насосов. Рассчитываются проходческие циклы, количество циклов в смену, среднее продвижение забоев по всем типам разведочных выработок, определяется последовательность проходки всех горных выработок, основные технико-экономические показатели по горно-проходческим работам.

В разделе «Буровые работы» определяются объемы буровых работ по назначению (разведочные, поисковые, опережающие, гидрогеологические и другие скважины) и по видам: поверхностные, подземные, колонковые, ударно-вращательные и др.; по глубинам скважин, по типам наконечников (в частности алмазные) и по категориям пород.

Выбираются и обосновываются типы станков и оборудования, условия их применения и технические показатели, технологические режимы бурения, производительность каждого вида буровых работ, норма выработки, потребное количество бригадосмен и оборудования. Приводятся основные технико-экономические показатели буровых работ.

В разделе «Опробование и лабораторные исследования» рассчитывается количество проб по способам пробоотбора, по видам, типам и размерам, описывается техника пробоотбора и расположение проб в выработках, начальные и конечные веса проб, техника отбора проб при бурении скважин, объемы контрольных проб и контрольных анализов (внутреннего и внешнего контроля), виды валового опробования, количество, техника отбора и объемы валовых проб. Рассчитывается методика, схема и техника обработки проб, виды, состав, объемы и характеристика

лабораторных исследований. Характеризуется применяемое оборудование и условия проведения работ. Рассматриваются основные технико-экономические показатели по опробованию и лабораторным исследованиям.

В разделе «Гидрогеологические и инженерно-геологические работы» приводятся объемы работ по видам и техническим условиям, объем буровых и опытных работ, количество проб и анализов вод. Описываются режимы наблюдения и рассчитываются основные технико-экономические показатели всех запроектированных видов работ.

В разделе «Топографо-геодезические и маркшейдерские работы» определяется объем поверхностных топогеодезических работ и система маркшейдерского обеспечения всех видов разведочных работ. Техника и условия их проведения, а также объемы маркшейдерских работ по видам. Рассчитываются основные технико-экономические показатели топо-маркшейдерских работ.

В разделе «Камеральные работы» устанавливаются объемы и состав камеральных работ, порядок и последовательность их выполнения. Количество персонала и состав работников камеральных групп.

В разделе «Организационно-производственные и хозяйственные вопросы» описывается проектируемая организация энергетического хозяйства, связи, водоснабжения, производственных мастерских и лабораторий, строительство временных зданий и сооружений. Рассчитывается объем перевозок, описывается организация транспорта, быта сотрудников, снабжения партии продовольствием и приводятся основные технико-экономические показатели по транспортировке грузов и строительству временных зданий и сооружений. Проектируются мероприятия по охране труда и технике безопасности при проведении всех видов геологоразведочных работ, противопожарные меры и мероприятия по гражданской обороне объектов партии. Особое внимание уделяется мероприятиям по охране недр и окружающей среды от вредного влияния проектируемых геологоразведочных работ. С этой целью:

— определяется возможный ущерб сельскому и лесному хозяйству и проектируются работы по проведению земельных участков в нормальное состояние (рекультивация земель) или возмещение ущерба;

— проектируются мероприятия по охране лесов поверхностных и подземных вод, заповедников, памятников природы и культуры от вредного влияния разведочных работ;

— проектируются мероприятия по сохранности разведочных выработок, которые могут быть использованы при разработке месторождений и работы по ликвидации разведочных горных выработок и скважин, не подлежащих использованию;

— определяются места размещения отвалов горных работ и условия отвода шахтных вод, исключаящие их вредные влияния на

окружающую среду, а также размещение попутно извлекаемых полезных ископаемых, обеспечивающие их сохранность.

В конце проекта приводится ожидаемая эффективность затрат на производство геологоразведочных работ. Ожидаемые технико-экономические и оценочные показатели, характеризующие эффективность затрат на производство запроектированных геологоразведочных работ.

Смета затрат на производство геологоразведочных работ. составляемая к проекту содержит расчет себестоимости единиц основных видов работ, сметной и плановой стоимости всех запроектированных геологоразведочных и вспомогательных работ (транспортировки, временного строительства и пр.) с учетом фактически достигнутого за последние годы снижения сметных норм и намечаемых в проекте мероприятий по внедрению новой техники и технологии производства.

На основе проектно-сметной документации разрабатывается поэтапный календарный план проведения геологоразведочных работ. В отдельные этапы этого плана выделяются законченные по содержанию задачи, решение которых необходимо для выполнения геологического задания в целом. Для каждого этапа устанавливается сметная стоимость работ по его выполнению. Календарный поэтапный план является основным документом, по которому контролируется и финансируется деятельность геологоразведочных организаций. Выполняемые организациями геологические задания оплачиваются стройбанком за полностью выполненные этапы по стоимости, указанной в календарных планах. Лишь в тех случаях, когда геологоразведочные работы с разрешения вышестоящей организации прекращаются ввиду их явной бесперспективности, оплата этапов производится по сметной стоимости фактически выполненных объемов работ.

Составление проектов и смет производится в соответствии с методическими указаниями и инструкциями по производству отдельных видов работ, инструкциями о порядке планирования, проектирования и финансирования геологоразведочных работ и справочниками укрупненных проектно-сметных норм на геологоразведочные работы (СУСН).

§ 4. Организация геологоразведочных работ

Вопросы организации геологоразведочных работ на основе государственного законодательства о труде и НОТ составляют главное содержание специальной дисциплины. Ниже рассматриваются только некоторые особенности проведения геологоразведочных работ и требования к календарным поэтапным планам, определяющим рациональную последовательность выполнения основных видов геологоразведочных работ.

В отличие от большинства видов производственной деятельности геологоразведочным работам свойственны некоторые особенности, определяющие специфику их организации и проведения

Главная особенность геологоразведочных работ заключается в том, что их результаты практически невозможно предсказать в деталях, а иногда и в принципе. Конкретные сведения о запасах разведываемого месторождения, их свойствах и условиях залегания в недрах выявляются постепенно по мере выполнения запроецированного объема геологоразведочных работ. Каждое очередное разведочное пересечение обеспечивает получение новых данных, которые всегда изменяют прежнее представление о разведываемом объекте. На ранних стадиях и при сложном геологическом строении месторождения они нередко приводят к пересмотру сложившихся представлений, что неизбежно влечет за собой необходимость большего или меньшего изменения принятых ранее проектных решений. Только на поздних стадиях геологоразведочных работ и при сравнительно простом строении месторождения новые данные не изменяются, а уточняют существующие представления.

К числу других особенностей геологоразведочных работ относятся:

— широкий комплекс весьма различных, но взаимосвязанных видов основных и вспомогательных работ;

— отсутствие материально-технической и энергетической баз на месте проведения работ, часто при удаленности объекта от промышленных центров и транспортных магистралей;

— ограниченный срок проведения работ и их зависимость от сезона и климатических условий.

Вследствие перечисленных особенностей процесс геологоразведочных работ отличается крайне нестабильностью. Проведение запроецированных объемов работ осложняется ранее непредвиденными обстоятельствами, а их последовательность нередко изменяется в зависимости от характера дополнительно получаемой информации. Все это требует непрерывного корректирования методики и техники геологоразведочных работ, чрезвычайно гибкой организации и оперативности их проведения. В этой связи возможности использования методов сетевого планирования при проектировании и проведении геологоразведочных работ весьма ограничены. Их целесообразно применять только при организации некоторых наиболее стабильных видов геологоразведочных работ (например, скоростной проходки горной выработки или бурения единичной скважины).

Хорошей организации геологоразведочных работ способствуют: правильный выбор методики и техники работ, комплексная их механизация и автоматизация, комплектность оборудования и обеспеченность его запасными частями, наличие транспортной и ремонтно-механической баз, правильное определение потребностей в материальных ресурсах и четкая организация вспомогательных служб. Решающее влияние оказывают правильный подбор инженерно-технических и рабочих кадров, обеспеченность хороших социально-экономических условий труда и культурно-бытовое обслуживание трудящихся.

Организационный уровень геологоразведочных работ находит

свое отражение в календарных поэтапных планах, по которым контролируется и финансируется деятельность геологоразведочных организаций. Разность между сметной стоимостью этапа, оплачиваемой стройбанком по его завершении и фактической себестоимостью выполненных работ образует прибыль, достигнутую геологоразведочной организацией при выполнении геологического задания. Величина этой прибыли является главным экономическим показателем оценки деятельности геологоразведочной организации. Она возрастает при совершенствовании организации разведочных работ за счет снижения фактической их себестоимости и экономии объемов работ, на основе творческого анализа получаемой геологической информации и постоянного совершенствования методики исследований.

В отдельный этап выделяется законченная по геологическому содержанию задача, решение которой необходимо для выполнения геологического задания в целом. Как правило, в отдельный этап не должны выделяться работы, не решающие законченной геологической задачи или исключающие принципиальную возможность экономии объемов (например проходка отдельных разведочных выработок). Исключение в этом отношении могут составлять только глубокие разведочные скважины при бурении на нефть и газ, вскрывающие капитальные горные выработки (шахтные стволы, штольни), глубокие структурно-поисковые скважины и другие выработки специального назначения, являющиеся по проекту единичными, дорогостоящими сооружениями, на создание которых требуется значительное время.

Выделяемые этапы должны включать полный комплекс работ, необходимых для решения поставленной задачи: геологоразведочные работы, работы по опробованию, проведению необходимых исследований в скважинах, топо-маркшейдерское обеспечение, аналитические и лабораторные исследования. Результаты работ, входящих по проекту в данный этап и выполняемых геологоразведочными службами в течение выделенного календарного срока, должны быть отражены на сводных геологических документах, обобщающих всю полученную информацию, геологических картах, разрезах, колонках, погоризонтных планах, графиках интерпретации геофизических исследований, планах опробования и др. Указанные документы должны составляться в полностью законченном и обработанном виде с нанесением результатов лабораторных и аналитических исследований.

В отдельные этапы календарных планов выделяются:

— поисково-оценочные работы на выявленных перспективных участках;

— разведка ограниченных участков (блоков) месторождения с обеспечением заданного прироста запасов группой выработок или скважин на конкретных разрезах, горизонтах, в контурах конкретной залежи и т. п.;

— отбор технологических проб для полупромышленных и промышленных испытаний;

Геолого-экономическая оценка месторождений

— специальные гидрогеологические исследования, включающие обособленный комплекс работ (откачка, резистивиметрия и др.), выполняемый на специально проходимых скважинах или группах скважин;

— выполнение режимных и стационарных гидрогеологических наблюдений;

— камеральные работы или работы по составлению подсчета запасов;

— сокращение керна скважин.

Составление календарных поэтапных планов производится на основе календарных планов-графиков, определяющих рациональную последовательность выполнения основных видов работ. Их составление требует учета и взаимной увязки геологических, технологических, организационных, экономических и других факторов. При составлении календарных планов-графиков рекомендуется придерживаться следующих правил:

— порядок выполнения основных разведочных операции должен определяться с учетом взаимозависимости их результатов. Проходка двух разведочных выработок может осуществляться параллельно, если целесообразность проходки каждой из них не зависит от результатов изучения другой. Если же результат изучения одной из них может сделать проходку другой выработки ненужной, их следует проводить последовательно;

— при определении рациональной последовательности бурения скважин следует прежде всего выделить «узловые» разведочные пересечения, изучением которых с геологических позиций сразу же решается вопрос о целесообразности бурения ряда смежных пересечений. Скважины в «узловых» пересечениях должны буриться в первую очередь;

— в разведочных разрезах скважины должны проходиться, как правило, последовательно от мелких к более глубоким, однако, при разведке крутопадающих залежей со склонением в плоскости падения первыми могут буриться скважины, вскрывающие предполагаемое продолжение залежей по склонению. При разведке относительно узких, лентообразных залежей (россыпей и др.) скважины в разведочных линиях бурятся последовательно от середины залежи к ее периферии до выхода в непромышленную часть, так как при такой последовательности минимизируется количество законтуренных скважин. (Строгое соблюдение последовательности бурения «от руды — к внешнему контуру» рационально только на детальной стадии, когда примерное положение границ промышленной части залежей уже определено);

— при выборе рациональной последовательности бурения скважин необходимо учитывать: число буровых станков, сроки поступления и ввод в эксплуатацию новых станков, коммерческую скорость бурения на станко-месяц, время, необходимое на перевозку, монтаж и демонтаж оборудования, влияние географических и климатических факторов

Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых проводится на всех стадиях разведочных работ и неразрывно связана с ними. По ее результатам выявляется сравнительная промышленная ценность разведанных месторождений, устанавливается очередность их разведки и промышленного освоения, обосновываются темпы разведочных работ, оптимальная степень разведанности запасов и целесообразность затрат на разведку месторождений. Она включает в себя оценку геологических особенностей месторождения, природной ценности полезного ископаемого и вероятного экономического эффекта от использования добытого минерального сырья в народном хозяйстве

Геологическая оценка месторождений основывается на результатах проведенных геологоразведочных работ, которые обобщаются при подсчете запасов полезного ископаемого в недрах

Подсчетом запасов называется совокупность операций по анализу и обобщению результатов геологоразведочных работ, имеющих своей конечной целью выявление количества и качества минерального сырья в недрах; его технологических свойств и горно-геологических факторов, определяющих условия вскрытия и разработки месторождения. В процессе подсчета запасов создается геологическая модель разведываемого месторождения, отражающая достигнутое детальность его изучения, оценивается ее достоверность, надежность общих цифр запасов и среднечисленных значений важнейших геологоразведочных параметров

Запасы полезных ископаемых определяют природную ценность месторождения. Они подсчитываются по состоянию в недрах без учета потерь и разубоживания минерального сырья, неизбежных при их добыче. В отличие от извлекаемых запасов минерального сырья запасы в недрах называются геологическими запасами. Однако при подсчете геологических запасов учитываются не только геологические особенности месторождений, но и условия технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающие рентабельность и рациональное использование недр. Поэтому для подсчета геологических запасов полезных ископаемых необходима хотя бы примерная оценка ожидаемого экономического эффекта от возможного использования данного месторождения в народном хозяйстве. Такая оценка проводится при составлении промышленных кондиций к качеству минерального сырья, оконтуриванию продуктивных залежей и к технологии

разработки месторождения, которые принимаются в основу подсчета запасов полезного ископаемого. Оптимальные показатели кондиций определяются с учетом геологических особенностей разведываемого месторождения, его географо-экономического положения, экономики соответствующей отрасли горной промышленности и плана развития всего народного хозяйства страны. Таким образом, оценка геологических запасов полезного ископаемого в недрах невозможна в отрыве от экономической оценки месторождения как источника минерального сырья для удовлетворения нужд народного хозяйства

Экономическая оценка месторождения определяет возможный экономический эффект от использования разведанных запасов в народном хозяйстве. Она базируется на результатах подсчета геологических запасов полезных ископаемых и включает в себя совокупный анализ факторов, определяющих экономическую эффективность эксплуатации месторождения и эффективность капитальных вложений в строительство промышленного комплекса.

Геологическая и экономическая оценки месторождений настолько тесно взаимосвязаны, что практически трудно отделимы друг от друга. Подсчет запасов производится на основании промышленных кондиций, в то время как в основу экономической оценки принимаются геологические запасы полезного ископаемого в недрах. Правильная и своевременная геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых служит основой планирования геологоразведочных работ, оценки их экономической эффективности, способствует сохранению минеральных ресурсов и рациональному использованию недр.

Проблеме геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых посвящены исследования Л. П. Кобахидзе, Е. О. Погребницкого и В. И. Тернового. Ж. Матерона, Н. А. Хрущева и др., вопросам подсчета запасов и определения природной ценности месторождений — работы И. Д. Когана, А. М. Марголина, В. И. Смирнова, А. П. Прокофьева и др.

Глава IX

Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых

Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых устанавливаются для каждой стадии геологоразведочных работ. На стадии предварительной разведки месторождений разрабатываются временные кондиции, которые рассматриваются и одобряются ЦКЗ геологических управлений. К подсчету запасов детально разведанных месторождений кондиций рассматриваются и утверждаются ГКЗ СССР. В процессе эксплуатации месторождения периодически возникает необходимость в пересмотре и уточнении кондиций в связи с выявлением новых факторов, влияющих на технологию добычи и переработки минерального сырья, изменением представ-

лений об условиях залегания, строении и качества полезных ископаемых, изменением цен на продукцию горного предприятия или совершенствованием горной технологии. Пересмотренные кондиции также утверждаются в ГКЗ СССР.

Кондиции не характеризуют оптимальных горно-геологических условий месторождения, так как не содержат характеристик среднего качества полезного ископаемого. Ими определяются только предельные значения важнейших горно-геологических параметров, при которых обеспечивается экономическая целесообразность разработки месторождения или его участка.

Обоснование кондиций — сложная работа, требующая учета взаимосвязей различных горно-геологических и технико-экономических параметров, для выявления оптимального варианта оконтуривания и оценки полезного ископаемого. Оптимальные кондиции должны обеспечивать максимальную полноту использования недр и одновременно высокую экономическую эффективность эксплуатации месторождения.

В геологическом обосновании кондиций содержатся данные, характеризующие изменения представлений о морфологии, строении и составе залежей полезных ископаемых в зависимости от принимаемых значений кондиционных показателей. Особое внимание обращается на соответствие кондиций природным особенностям месторождения с точки зрения полноты и комплексности использования недр.

Технико-экономическое обоснование кондиций способствует выявлению такого варианта их показателей, при котором обеспечивается наиболее полное комплексное использование минерального сырья, минимальные потери полезного ископаемого, затраты на получение единицы продукции и капиталовложения в строительство горного предприятия.

§ 1. Минимальное промышленное содержание и дополнительные показатели кондиций

Минимальное промышленное содержание — это предельное содержание ценного компонента (или минерала), при котором промышленное использование полезного ископаемого еще экономически целесообразно. Оно является важнейшим обобщающим показателем кондиций и относится к объему отдельного подсчетного блока. Предел экономической целесообразности промышленного использования полезного ископаемого определяется равенством издержек производства по добыче и переработке полезного ископаемого и стоимости ценных компонентов, извлекаемых из переработанного объема минерального сырья [20]:

$$c_{\min} \cdot e \cdot K_{об} \cdot K_M \frac{C_M}{C_M} = s_d + s_{об} + s_M,$$

откуда

$$c_{\min} = \frac{(s_d + s_{об} + s_M) C_M}{e \cdot K_{об} \cdot K_M \cdot C_M}, \quad (9.1)$$

где c_{\min} — минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке, %;

s_d — себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого доставки ее до бункера обогатительной фабрики, руб,

$s_{об}$ — себестоимость обогащения 1 т полезного ископаемого, руб;

s_m — себестоимость извлечения (металлургического передела), включая транспортировку до перерабатывающего предприятия, отнесенная на 1 т полезного ископаемого, руб;

e — коэффициент извлечения качества $\frac{100-p}{p}$, где p — разубоживание полезного ископаемого при добыче, %;

$K_{об}$ — коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении;

K_m — коэффициент извлечения полезного компонента при переделе минерального сырья;

Π_m — преискурантная (оптовая) цена полезного компонента в готовом продукте, руб,

C_m — содержание полезного компонента в готовом продукте, %.

Все входящие в эту формулу показатели представляют собой переменные и взаимозависимые величины. Они зависят от природных свойств месторождения, проектируемой технологии разработки месторождения и переработки минерального сырья, технической оснащенности и уровня организации производства, географо-экономических условий района и ряда других факторов. Именно по этому минимальное промышленное содержание является важнейшим обобщающим показателем кондиций, в значении которого находят отражение все факторы, определяющие реальную ценность данного месторождения.

Основное назначение минимального промышленного содержания — разделение разведанных запасов в недрах на балансовые и забалансовые. Чем меньше объемы подсчетных блоков, тем детальнее это разделение. С увеличением размеров подсчетных блоков снижается детальность оконтуривания и увеличиваются погрешности подсчета балансовых запасов. Рациональным пределом уменьшения подсчетного блока считается объем эксплуатационного блока.

Существующая методика расчета минимальных промышленных содержаний приводит к созданию некоторого резерва промышленно-ценных запасов в недрах. Это обусловлено тем, что при определении минимального промышленного содержания расходы по амортизации основных фондов относятся только на балансовые запасы и тем, что в расчет принимаются среднеотраслевые цены на готовый продукт.

По мере освоения месторождений в производство обычно вовлекается часть тех запасов, которые ранее по результатам развед-

ки оценивались как забалансовые. Так, после завершения строительства промышленного комплекса в промышленный контур могут быть дополнительно включены блоки забалансовых запасов с содержанием выше некоторого предельного содержания, определенного по формуле (9.1), но без учета капитальных затрат на строительство. После проведения горно-капитальных и горно-подготовительных работ появляется возможность дополнительной «прирезки» некондиционных запасов с еще более низкими средними содержаниями, рассчитанными без учета затрат на их вскрытие и подготовку к очистной выемке. Это обстоятельство позволило А. М. Марголину и Л. П. Бурдо [26] сформулировать принцип «окупаемости предстоящих затрат»: к балансовым запасам должны относиться те объемы полезного ископаемого в недрах, стоимость полезных компонентов в которых окупает дополнительные затраты, возникающие после принятия решения об их разработке. В соответствии с этим принципом контуры балансовых запасов должны различаться на каждом технологическом этапе освоения месторождения. При его последовательном использовании число расчетных минимальных промышленных содержаний будет равно числу технологических этапов освоения запасов месторождения. Так, например, при освоении одного из жильных месторождений авторы выделяют пять этапов технологической освоенности запасов (табл. 8).

Таблица 8

Шкала минимальных содержаний для этапов разработки запасов жильного месторождения (по А. М. Марголину и Л. П. Бурдо)

Степень освоенности (этап разработки запасов)	Технологический блок, к которому применяется минимальное содержание	Предстоящие затраты на добычу 1 т руды, руб	Минимальное содержание металла, в долях от бортового
Готовые к выемке	Объем отпалки в очистном забое	40,8	1
Нарезанные	Эксплуатационный блок	46	1,13
Подготовленные	Панель между соседними штреками	48,6	1,19
Подлежащие вскрытию	Полотно «подвешенное» к нижнему штреку	53	1,30
Запасы строящегося предприятия	Все балансовые запасы месторождения	61,6	1,51

Каждому этапу соответствует свое значение минимального промышленного содержания, рассчитанное с учетом предстоящих затрат на разработку 1 т руды, причем для крайних этапов оно различается более чем в полтора раза.

Принцип предстоящих затрат целесообразно применять и при расчете минимальных промышленных содержаний на разных стадиях геологоразведочных работ. Тогда минимальное промышленное содержание для оценки предварительно разведанного месторожде-

ния окажется выше, чем для детально разведанного, поскольку при его расчете будут учтены предстоящие затраты на детальную разведку 1 т руды.

Другой путь повышения эффективности использования недр при расчете минимального промышленного содержания разработан Н. А. Хрущовым [48]. Он предложил заменить среднеотраслевые оптовые цены более высокими расчетными ценами, отражающими себестоимость продукции действующих предприятий, работающих в наихудших условиях. Использование цен, основанных на «замыкающей» себестоимости производства готового продукта, позволяет вовлечь в производство дополнительную часть запасов.

При расчете минимальных промышленных содержаний полезных компонентов в комплексных рудах, их выражают в условных единицах основного компонента. В качестве основного принимается компонент, определяющий природную ценность полезного ископаемого. Перевод содержаний основных компонентов в содержание условного основного компонента производится с помощью коэффициентов, учитывающих преysкурантные цены на каждый из них и плановые коэффициенты извлечения компонентов в готовую продукцию. Расчет переводных коэффициентов производится по формуле

$$K = \frac{C_1 I_1}{C_0 I_0}, \quad (9.2)$$

где C_0 — преysкурантная цена основного компонента в годовой продукции;

C_1 — преysкурантная цена другого компонента в годовой продукции;

I_0, I_1 — извлечение обоих компонентов в готовую продукцию.

Пример расчета минимального промышленного содержания металлов в комплексной медно-свинцово-цинковой руде, когда в качестве основного металла принята медь, дан в табл. 9.

Допустим, что средние содержания металлов в подсчетном блоке составляют (в %) меди 0,8; свинца 0,7; цинка 0,6.

При установленном минимальном промышленном содержании для меди 1,1% запасы блока без учета свинца и цинка должны быть отнесены в группу забалансовых. Если же учесть весь комплекс металлов, то запасы блока должны оцениваться как балансовые, так как содержание условной меди составляет 1,28%: $0,8K_0 + 0,7K_1 + 0,6K_2 = 0,8 + (0,7 \cdot 0,45) + (0,6 \cdot 0,28) = 1,28\%$.

Аналогично могут быть рассчитаны переводные коэффициенты и для важнейших сопутствующих полезных компонентов.

При расчете минимального промышленного содержания должны также учитываться дополнительные накопления $C_{доп}$, которые могут быть получены от реализации сопутствующих полезных ископаемых, например, пород вскрыши и хвостов обогатительных фабрик как дополнительной промышленной продукции. После исключения дополнительных накопления из суммы общих затрат

общая формула расчета минимального промышленного содержания приобретает следующий вид:

$$C_{мин} = \frac{[(s_d + s_{об} + s_m) - C_{доп}]}{e \cdot K_{об} \cdot K_m \cdot C_m (1 + K)}, \quad (9.3)$$

где K — коэффициент, учитывающий отношение ценности сопутствующих компонентов к ценности условного основного.

Кроме минимального промышленного содержания, для подсчета запасов устанавливаются **дополнительные кондиции**, содержание которых зависит от вида полезного ископаемого, природных особенностей месторождения, условий добычи и переработки минерального сырья. Они разделяются на три группы.

А. Кондиции к качеству и технологическим свойствам минерального сырья:

— перечень подлежащих учету основных и сопутствующих полезных компонентов;

— максимальные содержания вредных примесей;

— технологические типы и сорта минерального сырья, подлежащие отдельному учету в недрах;

— специальные требования к качеству минерального сырья в недрах.

Б. Кондиции к оконтуриванию полезных ископаемых в недрах: — бортовое содержание полезного компонента для оконтуривания балансовых запасов;

— бортовое содержание полезного компонента для оконтуривания забалансовых запасов;

— предельно допустимая мощность участков пустых пород или некондиционных участков полезного ископаемого, включаемых в контур промышленной минерализации;

— минимальная (рабочая) истинная мощность тел полезных ископаемых по разведочному пересечению и соответствующий линейный запас (метро-процент, метро-грамм и др.);

— предельный коэффициент рудоносности и условия его применения;

— предельные размеры подсчетных блоков.

В. Горно-технологические кондиции разработки месторождения:

— способ и глубина разработки месторождения и предельный коэффициент вскрыши;

Таблица 9
Таблица переводных коэффициентов

Металлы	Цена 1 т металла в концентрате Ц, руб.	Извлечение металла в концентрате И, %	Переводной коэффициент К
Медь (основной металл)	$C_0=470$	$I_0=90$	1,00
Свинец	$C_1=420$	$I_1=45$	0,45
Цинк	$C_2=300$	$I_2=40$	0,28

$$K_1 = \frac{C_1 I_1}{C_0 I_0} = \frac{420 \cdot 45}{470 \cdot 90} = 0,45,$$

$$K_2 = \frac{C_2 I_2}{C_0 I_0} = \frac{300 \cdot 40}{470 \cdot 90} = 0,28.$$

- минимальные запасы полезного ископаемого,
- специальные требования к горно-геологическим условиям отработки.

§ 2. Кондиции к качеству и технологическим свойствам минерального сырья

Перечень подлежащих учету основных и сопутствующих компонентов. При разработке кондиций должны учитываться все полезные компоненты, которые при современных технологических методах переработки минерального сырья могут быть извлечены в готовые продукты, а также хвосты обогащения и вскрышные породы, если возможность их практического использования подтверждается расчетами и установлены конкретные потребители этой продукции. Кондициями устанавливается перечень тех полезных компонентов, которые в совокупности образуют комплекс и при обосновании минимального промышленного содержания должны учитываться в единицах условного основного компонента, обосновываются и рассчитываются переводные коэффициенты. Кроме того, определяется перечень подлежащих оценке сопутствующих компонентов и устанавливаются предельно допустимые среднечастотные содержания каждого из них. При этом увеличиваются особенности их размещения по различным технологическим типам и сортам минерального сырья, возможности их извлечения на различных стадиях переработки, а также их распределение по промпродуктам различных технологических стадий.

Максимальные содержания вредных примесей. Обычно они ограничиваются техническими условиями или требованиями ГОСТа. Если в процессе добычи или переработки минерального сырья все вредные примеси переходят в хвосты обогащения основного продукта или в шлаки, то кондициями они не ограничиваются. Если же для снижения содержания вредных компонентов необходимо применение специальных способов добычи или переработки минерального сырья, то кондициями устанавливается перечень вредных примесей и максимально допустимые их содержания в подсчетном блоке. Для многих видов минерального сырья, особенно для нерудных полезных ископаемых, вредные примеси и их предельные концентрации могут варьировать в широких пределах. Они зависят от состава, физического состояния и количественных соотношений полезных и вредных компонентов. Максимально допустимые содержания вредных примесей устанавливаются для каждого типа и сорта минерального сырья по результатам его технологических испытаний, а расходы связанные с удалением вредных примесей, учитываются в общих затратах при расчете минимального промышленного содержания основного компонента.

Технологические типы и сорта минерального сырья. При наличии в недрах нескольких технологических типов и сортов минерального сырья каждый из них учитывается и подсчитывается отдельно. Если участки, сложенные полезными ископаемыми различных

типов и сортов, могут быть оконтурены и добыты самостоятельно, расчет минимального промышленного содержания и других кондиционных показателей производится отдельно для каждого из них. Если же учет технологических типов и сортов производится статистически в общем контуре промышленной минерализации, кондиции рассчитываются исходя из их соотношений с учетом цен на каждый тип и сорт полезного ископаемого и показателей извлечения полезных компонентов в готовый продукт.

В кондициях указываются какие технологические типы и сорта полезного ископаемого подлежат самостоятельному оконтуриванию или статистическому учету и проводится комплекс показателей для их оценки и выделения.

Специальные требования к качеству минерального сырья в недрах. В зависимости от использования полезных ископаемых, промышленность предъявляет ряд специальных требований к качеству минерального сырья. Для многих нерудных полезных ископаемых эти требования лимитируются государственными стандартами или техническими условиями, иногда же определяются с учетом специфических свойств и особенностей оцениваемого вида минерального сырья. Так, например, бокситы, согласно ГОСТу 972—50, разделяются на 10 марок в зависимости от содержания окиси алюминия и кремнекислоты (марки БВ, Б 0 до Б 8). Качество строительных каменных материалов определяется их механической прочностью в сухом и водонасыщенном состоянии, кислото- и морозостойкостью, изнашиваемостью, вязкостью, пористостью, свободным водопоглощением и рядом других специфических свойств. Для штучного камня, кроме перечисленных свойств, определяющее значение имеют полируемость, цвет, окраска или рисунок, а для рваного камня — кусковатость и другие специфические качества.

§ 3. Кондиции к оконтуриванию полезных ископаемых

Бортовое содержание полезного ископаемого для оконтуривания балансовых запасов. При отсутствии четких природных границ полезных ископаемых с вмещающими породами оконтуривание промышленно-ценных участков производится по некоторому заданному (бортовому) содержанию полезного компонента.

Бортовое содержание — это такое минимальное содержание полезного компонента в пробе, при котором данная проба еще может быть включена в продуктивный контур. От величины бортового содержания зависят представления о размерах и строении продуктивных залежей, а также средние содержания в них полезных компонентов. Чем ниже бортовое содержание, тем крупнее размеры залежей, проще их формы и ниже среднее содержание в них полезных компонентов.

Основным критерием для выбора величины бортового содержания является степень соответствия характера пространственного размещения полезных компонентов в минерализованном объеме недр тем горно-техническим условиям, которые обеспечивают мак-

симальную эффективность разработки месторождения. Оптимальное значение бортового содержания может колебаться от минимального промышленного до содержания полезного компонента в отходах производства. В отличие от минимального промышленного содержания обосновать оптимальное значение бортового содержания путем прямых горно-экономических расчетов невозможно.

В практике геологоразведочных работ оптимальное значение бортового содержания определяется методом вариантов путем последовательного оконтуривания балансовых запасов при различных значениях бортового содержания.

Вначале значение бортового содержания принимается равным минимальному промышленному. Если при этом оконтуриваются компактные, простые по форме и крупные по размерам залежи полезного ископаемого, а большинство проб с кондиционным содержанием полезных компонентов не выходит за их контуры, то вариант считается оптимальным. Оконтуривание по борту, равному минимальному промышленному содержанию целесообразно при разведке залежей полезных ископаемых, обладающих постепенными расплывчатыми переходами во вмещающие породы (рис. 51). Применение более низкого бортового содержания в данном случае нерационально, так как привело бы к неоправданному разубоживанию полезного ископаемого за счет периферических зон с содержаниями полезных компонентов заведомо ниже установленного промышленного минимума.

Если при бортовом содержании, равном минимальному промышленному, оконтуриваются многочисленные мелкие и изолированные скопления полезного ископаемого, целесообразно снижение бортового содержания до такого предела, при котором подавляющая часть скоплений объединится единым контуром. Упрощение форм залежей и укрупнение их размеров существенно улучшает горно-технические условия разработки месторождения, а неизбежное разубоживание полезного ископаемого компенсируется увеличением его запасов за счет вовлечения в промышленный контур не только участков с низкими содержаниями полезных компонентов, но и многочисленных богатых скоплений (рис. 52).

Окончательный выбор бортового содержания корректируется путем технико-экономического анализа вариантов. Для этого по каждому из них определяются условия применения тех или иных систем разработки, оцениваются возможные масштабы горного предприятия, объемы годовой продукции, ее себестоимость, общие и удельные капиталовложения, ожидаемые рентабельность предприятия и окупаемость капиталовложений. В качестве оптимального значения бортового содержания принимается такое, при котором обеспечивается максимальная полнота использования недр и высокая экономическая эффективность эксплуатационных работ.

При оконтуривании залежей комплексных полезных ископаемых значения бортового содержания выражаются в условных единицах основного компонента. Перевод содержания остальных ком-

понентов в содержания условного компонента производится с помощью переводных коэффициентов так же, как это делается при расчете минимального промышленного содержания

Бортовое содержание полезного компонента для оконтуривания забалансовых запасов. Для оконтуривания забалансовых запасов обычно устанавливается наиболее низкое из возможных значений

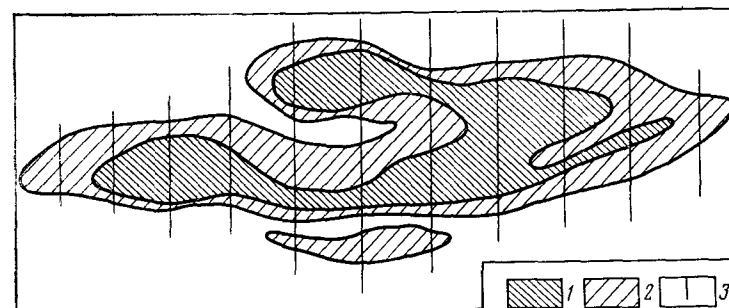


Рис. 51. Оконтуривание залежи, обладающей плавными постепенными переходами во вмещающие породы.

1 — форма залежи при оконтуривании ее по бортовому содержанию равному минимальному промышленному, 2 — то же, по бортовому содержанию ниже минимального промышленного, 3 — разведочные пересечения

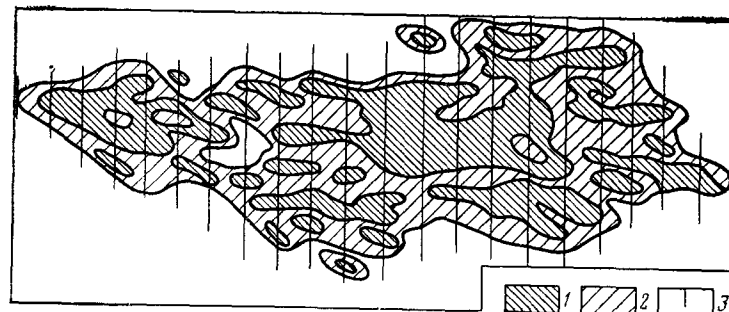


Рис. 52. Оконтуривание залежи сложного, вкрапленно-прожилкового строения с неравномерными переходами во вмещающие породы
Условные обозначения те же, что и на рис. 51

бортового содержания, при котором еще практически возможно извлечение полезных компонентов из добытого минерального сырья. В качестве нижних пределов бортовых содержаний часто принимаются средние содержания полезных компонентов в отходах производства — отвалах горных выработок, в хвостах обогащения, в кеках гидрометаллургического или в шлаках пирометаллургического переделов.

Предельно допустимая мощность участков пустых пород, включаемых в промышленный контур. В соответствии с действующей классификацией запасов участки пустых пород (и участки, некондиционные по содержанию полезных компонентов) не должны включаться в подсчетные контуры, так как свойства полезного ис-

копаемого определяются по состоянию в недрах, независимо от возможного его разубоживания при добыче. Однако если залежи полезных ископаемых обладают сложным прерывистым строением, это требование не удается выполнить полностью, так как участки пустых пород не поддаются уверенной геометризации, а их мощности и размеры настолько малы, что практически исключается возможность их селективной отработки. При оконтуривании балансовых запасов в недрах условно считается, что небольшие участки пустых пород не нарушают представлений о сплошности строения залежей полезного ископаемого, а их разубоживающее влияние учитывается при выводе среднего содержания полезного компонента. Таким образом, рассматриваемый показатель кондиций определяет масштаб исследований. Он зависит с одной стороны от природы месторождения, а с другой — от проектируемой технологии его разработки.

В числе природных свойств основное влияние на величину предельно допустимого размера пустых участков оказывают условия залегания и характер строения полезных ископаемых. Для выдержанных крутопадающих пластовых месторождений максимальные мощности пустых прослоев обычно измеряются долями метра, а для залежей с невыдержанным прерывистым внутренним строением (когда участки пустых пород чередуются с участками полезного ископаемого без видимой пространственной закономерности) их размеры увеличиваются до нескольких метров. Выбору оптимального значения рассматриваемого кондиционного показателя способствуют эмпирические гистограммы размеров пустых участков в пределах минерализованного блока горных пород, позволяющие оценить модальное значение этого показателя.

Влияние проектируемой горной технологии сказывается в том, что чем шире масштаб производства, выше производительность добычных работ и больше размеры очистных забоев, тем более крупные участки пустых пород целесообразно включать в контуры отработываемых залежей. При подземной отработке многих видов полезных ископаемых максимальные размеры участков пустых пород изменяются от долей метра до 2—3 м, а при открытой отработке от 3—5 до 10 м.

Увеличение предельно допустимой мощности пустых прослоев и участков некондиционных по содержанию полезных компонентов способствует повышению производительности горных работ и снижает себестоимость его добычи, однако одновременно снижаются средние содержания полезных компонентов, показатели их обогащения и извлечения в готовый продукт и повышается себестоимость переработки минерального сырья. Для того чтобы оценить влияние рассматриваемого кондиционного показателя, приходится оконтуривать и оценивать балансовые запасы полезного ископаемого не только по вариантам бортового содержания, но и по вариантам предельно допустимой мощности участков пустых пород. В табл. 10 показано, как запасы и качество одного из месторождений танталовых руд, разрабатываемых открытым способом, из-

меняются в зависимости от принятого максимального размера пустого участка [34].

При проектировании карьера был принят четвертый вариант, поскольку селективная выемка безрудных участков размером менее 4 м экономически не целесообразна, а разработка месторождения оправдана при среднем содержании пятиоксида тантала в руде не менее 0,012%.

Если сложно построенные минеральные зоны состоят из групп сближенных рудных обособлений с неясно очерченными или резкими контактами, разделенными участками практически пустых пород, предельная мощность пустых прослоев приобретает значение ведущего кондиционного показателя для оконтуривания запасов. При таком строении полезного ископаемого использование бортового содержания не обеспечивает при-

Таблица 10
Зависимость запасов руд и содержаний тантала от мощности пустых прослоев

Варианты	Максимальный размер участков пустых пород и некондиционных руд, включаемых в промышленный контур, м	Запасы, %	Содержания, %
1	1	60	0,015
2	2	68	0,014
3	3	70	0,014
4	4	90	0,013
5	5	95	0,011
6	6	100	0,010

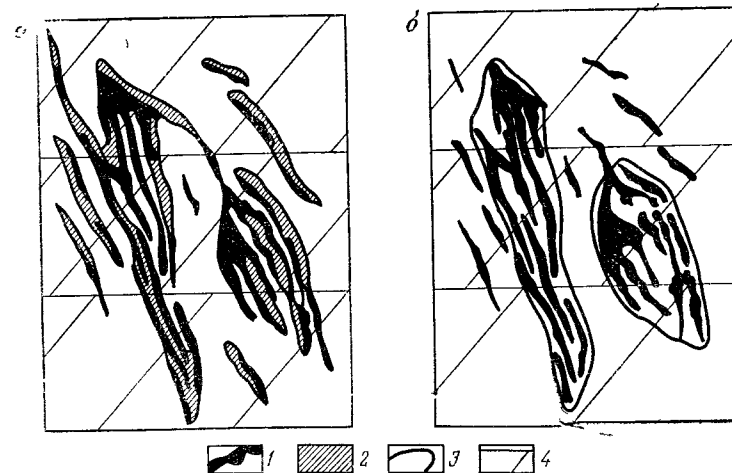


Рис 53. Оконтуривание штокверкоподобной залежи по бортовому содержанию (а) и по предельной мощности участков пустых пород (б).

1 — форма залежи при оконтуривании по бортовому содержанию, равному минимальному промышленному; 2 — то же, по бортовому содержанию ниже минимального промышленного; 3 — то же, по максимальному прослою пустых пород; 4 — разведочные пересечения

емлемых вариантов оконтуривания (рис. 53, а). Выделение компактных залежей с прерывистым строением и высокой концентрацией полезного компонента из массы мелких разобщенных скоплений полезного ископаемого возможно только с помощью кондиционного показателя, определяющего предельно допустимую мощ-

ность пустых прослоев или участков, некондиционных по содержанию полезных компонентов, включаемых в общий промышленный контур (см. рис. 53,б).

Минимальная (рабочая) мощность тел полезных ископаемых по разведочному пересечению. Минимальная (рабочая) мощность залежей полезных ископаемых, при которой данное разведочное пересечение еще может быть включено в промышленный контур, зависит от устойчивости, формы, степени выдержанности залежи и характера ее контактов. Так, например, выдержанные, крутопадающие пласты углей отрабатываются при мощностях порядка 0,7—1 м. Рабочая мощность обеспечивает возможность добычи полезного ископаемого без подрыва вмещающих пород (при меньших мощностях их добыча сопровождается частичной выемкой вмещающих пород, что приводит к соответствующему разубоживанию недр). Для пологозалегающих тел полезных ископаемых рабочая мощность увеличивается до 1,5—2 м.

Для оконтуривания маломощных участков тел полезных ископаемых с повышенными содержаниями полезных компонентов устанавливается дополнительный кондиционный показатель — **минимальный метро-процент** (метро-грамм), представляющий собой произведение рабочей мощности залежи на минимальное промышленное содержание полезного компонента $mс$. Применение этого показателя позволяет включить в продуктивный контур все маломощные участки тел полезных ископаемых, в которых разубоживание за счет неизбежной прирезки боковых пород может быть компенсировано повышенным содержанием полезного компонента в данном разведочном пересечении, т. е.

$$mс = m_n c_n, \quad (9.4)$$

где m — рабочая мощность;

c — минимальное промышленное содержание;

m_n — фактическая (меньшая) мощность в данном разведочном пересечении;

c_n — содержание, которое должно компенсировать уменьшение мощности пересечения по сравнению с рабочей мощностью.

Предельный коэффициент рудоносности и условия его применения. При разведке месторождений полезных ископаемых со сложным, прерывистым строением размеры участков пустых пород часто превышают установленные кондициями предельно допустимые размеры. Однако выявить и оконтурить их сетью разведочных выработок не удается. В таких случаях возникает необходимость статистической оценки объема неучтенных кондициями участков пустых пород с помощью коэффициента рудоносности k_p . Этот коэффициент выражает отношение суммарного объема продуктивной (кондиционной) части полезного ископаемого к объему всей горной массы в промышленном контуре. В практике геологоразведочных работ для его оценки обычно определяют отношение суммар-

ных мощностей участков по всем разведочным пересечениям к суммарным мощностям прерывистых залежей:

$$k_p = \frac{\sum m_p}{\sum M}, \quad (9.5)$$

где $\sum m_p$ — сумма мощностей кондиционных (рудных) участков по всем разведочным пересечениям в пределах подсчетного объема;

$\sum M$ — сумма полных мощностей прерывистой залежи по всем разведочным пересечениям в пределах подсчетного объема.

Коэффициент рудоносности представляет собой только статистический показатель, характеризующий долю кондиционного полезного ископаемого (руды) в общем промышленном контуре балансовых запасов. Информации о закономерностях пространственного размещения, формах или размерах пустых и рудных участков этот показатель не содержит.

Среднее содержание полезного компонента в подсчетном блоке рассчитывается без учета разубоживающего влияния тех участков пустых пород и некондиционных руд, которые учтены коэффициентом рудоносности. Поэтому применение этого коэффициента допустимо только в тех случаях, когда при последующей эксплуатации месторождения предполагается селективная добыча полезного ископаемого, его сортировка или рудоразборка. Для решения вопроса о целесообразности применения коэффициента рудоносности проводится технико-экономический анализ вариантов подсчета запасов с различными значениями k_p и без него. При этом учитываются не только зависимости количества и качества запасов от величины коэффициента рудоносности и связанных с ним других кондиционных показателей, но также и те дополнительные затраты при эксплуатации месторождения s_p , которые возникают в связи с применением коэффициента рудоносности. При открытой разработке месторождений они включают себестоимость добычи и транспортировки в отвал пустых пород, заключенных в промышленном контуре, а также себестоимость опробования буровзрывных скважин для выделения участков кондиционного полезного ископаемого. При подземной отработке к ним добавляются дополнительные расходы по проведению разведочно-эксплуатационных работ для выявления и оконтуривания участков кондиционных скоплений полезного ископаемого. Эти дополнительные затраты рекомендуется учитывать при расчете минимального промышленного содержания.

$$c_{\min} = \frac{(s_d + s_{об} + s_m + s_p)}{e \cdot K_{об} \cdot K_M \cdot \Pi_M} C_M. \quad (9.6)$$

Возможны случаи, когда дополнительные затраты не будут компенсироваться извлекаемой ценностью содержащихся в руде полезных компонентов. Для предупреждения подобных случаев иногда

рассчитывается минимально допустимый коэффициент рудоносности

$$k_{p\min} = \frac{s_p}{(c_{\phi} - c_{\min}) e \cdot K_{об} \cdot K_M \cdot \Pi_M} C_M \quad (9.7)$$

где c_{ϕ} — фактическое среднее содержание;

c_{\min} — минимальное промышленное содержание

Однако применение минимального коэффициента рудоносности как кондиционного показателя вряд ли целесообразно, так как оценка коэффициента рудоносности зависит не только от соотношения объемов рудных участков с объемами продуктивных залежей, но также от степени разведанности полезного ископаемого в недрах. По мере сгущения разведочной сети за пределами промышленного контура удается оставлять все большее количество участков пустых пород, что способствует повышению коэффициента рудоносности (см. главу XVI). Поэтому если возникают опасения, что дополнительные затраты, связанные с применением коэффициента рудоносности, не оправдаются вследствие низкого содержания полезного компонента или низкого значения коэффициента рудоносности, лучше ограничивать не величину коэффициента рудоносности, а устанавливать минимальный запас полезного компонента на подсчетный блок.

Предельные размеры подсчетных блоков. Поскольку минимальное промышленное содержание относится к объему подсчетного блока, неизбежно возникает вопрос об его предельном размере. В методических указаниях предлагается выделять подсчетные блоки, отвечающие требованиям геологической и технологической однородности и опирающиеся на достаточное количество разведочных пересечений. В 1968 г. ГКЗ СССР было издано специальное разъяснение по вопросу о размерах подсчетных блоков, согласно которому на месторождениях с неравномерным распределением полезных компонентов или с изменчивой мощностью залежей запасы отдельных блоков не должны превышать годовой добычи проектируемого горного предприятия. В связи с этим последнее время в кондициях устанавливаются предельно допустимые размеры подсчетных блоков, выраженные запасами полезного ископаемого (руды).

§ 4. Горно-технологические кондиции разработки месторождения

Способ и глубина разработки месторождения, предельный коэффициент вскрыши. При проведении технико-экономического анализа в первую очередь проверяется возможность отработки месторождения или его части открытым способом. Одним из важнейших критериев применимости открытого способа добычи является коэффициент вскрыши, характеризующий долю горной массы, приходящуюся на единицу добываемого полезного ископаемого.

Предельный коэффициент вскрыши $K_{вск}$ рассчитывается по формуле

$$K_{вск} = \frac{s_{подз} - v_{откр}}{s_{вск}} \quad (9.8)$$

где $s_{подз}$ — себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого подземным способом;

$s_{откр}$ — себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого открытым способом;

$s_{вск}$ — себестоимость добычи 1 м³ (или 1 т) вскрышных пород.

Предельный коэффициент вскрыши как кондиционный показатель рассчитывается исходя из того, что себестоимость добычи 1 т руды открытым способом не должна быть выше таковой для подземной отработки.

Возможность открытой отработки неглубоко залегающих горизонтальных и пологопадающих тел полезных ископаемых определяется их мощностями и мощностями перекрывающих пород. Дно карьера обычно совпадает с почвой залежи, а коэффициент вскрыши определяется как отношение мощности залежи к мощности перекрывающих пород. Поскольку разработка таких залежей подземным способом обычно экономически нецелесообразна, предельно допустимый коэффициент вскрыши рассчитывается с учетом фактического содержания полезного компонента в промышленном контуре

$$K_{вск} = \frac{(c_{\phi} - c_{\min}) \Pi_M e K_{об} \cdot K_M}{s_{вск} C_M} \quad (9.9)$$

Для месторождений широко распространенных полезных ископаемых значения коэффициента вскрыши устанавливаются обычно не выше 2, а для менее распространенных полезных ископаемых его значение повышается до 10 и даже более

Предельные глубины подземной разработки месторождений определяются путем прямых технико-экономических расчетов.

Минимальные запасы полезных ископаемых. Необходимость в кондиционном показателе, устанавливающем минимальное количество полезного ископаемого, возникает в двух случаях: 1) на мелких месторождениях, когда запасы сосредоточены в нескольких пространственно разобщенных рудных телах и 2) на месторождениях, где наряду с основными крупными телами имеются изолированные мелкие залежи, расположенные в удалении от основных или в более сложных горно-геологических условиях. В обоих случаях для отнесения этих запасов в группу балансовых проводятся технико-экономические расчеты, подтверждающие экономическую целесообразность их отработки.

Для мелких месторождений минимальные запасы определяются из расчета окупаемости капитальных вложений на строительство рудника. Для мелких изолированных тел, расположенных в удалении от основных запасов полезного ископаемого, определяются

затраты, связанные с проведением горно-капитальных и подготовительных работ и в зависимости от них устанавливаются минимальные запасы (а иногда и предельные расстояния от основных залежей), при которых запасы в изолированных телах полезных ископаемых могут быть учтены в числе балансовых.

Специальные требования к горно-геологическим условиям отработки. В зависимости от специфических природных или горно-технологических особенностей месторождений условиями устанавливаются дополнительные требования к инженерно-геологическим условиям отработки месторождений.

Для месторождений со сложными гидрогеологическими условиями часто устанавливаются максимально допустимые притоки вод в подземные горные выработки, ограничивающие возможность отнесения запасов в группу балансовых. При подсчете запасов некоторых месторождений, устанавливаются требования к гранулометрическому составу руд, например, для железных мартезовских руд и др.

§ 5. Методика определения кондиций

Показатели кондиций взаимно влияют друг на друга. Изменение любого из них приводит к изменению качества и запасов минерального сырья в недрах, возможных способов и масштабов добычи полезных ископаемых. Поэтому выбор оптимальных значений важнейших кондиционных показателей представляет собой сложную и многомерную задачу.

В современной горнорудной практике расчет минимального промышленного содержания и других показателей кондиций производится упрощенными методами. В простейших случаях многие показатели кондиций принимаются по аналогии с действующими горнорудными объектами, а при расчете минимального промышленного содержания по формуле (9.1) все показатели условно принимаются постоянными.

В более сложных случаях расчет кондиций производится методом вариантов, при котором значения отдельных показателей последовательно изменяются, а выбор оптимальных значений производится путем сравнения технико-экономических показателей работы будущего предприятия по различным вариантам. С этой целью вначале устанавливаются кондиции к качеству полезного ископаемого, а затем с учетом его природных особенностей производится оконтуривание продуктивных залежей.

При наличии четких геологических границ тел полезных ископаемых эта задача решается более или менее однозначно, а при нечетких границах возникает ряд возможных вариантов оконтуривания с использованием различных бортовых содержаний, рабочих мощностей и мощностей прослоев пустых пород с применением коэффициента рудоности или без него. Количество таких вариантов зависит от сложности и масштабов объекта оценки, степени ответственности технико-экономических решений и от других при-

чин. Для одних месторождений оптимальные решения удается обосновать по нескольким вариантам, в то время как для других месторождений количество сравниваемых вариантов может достигать нескольких десятков.

После установления контуров продуктивных залежей по ряду конкурирующих вариантов кондиций, по каждому из них изучаются размеры и морфология продуктивных залежей, условия их залегания, подсчитываются средние содержания полезных компонентов, их запасы и запасы полезного ископаемого. На основе подсчитанных запасов по каждому варианту устанавливаются наиболее рациональные способы и системы разработки месторождения, предельные глубины открытой и подземной разработки, оцениваются вероятные показатели потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче и переработке, ожидаемая производительность предприятия и другие технико-экономические показатели его работы.

С учетом полученных технико-экономических показателей, прецедентных цен полезных компонентов и их содержания в готовом продукте для каждого конкурирующего варианта по формуле (9.1) рассчитывается минимальное промышленное содержание. Полученные по всем вариантам минимальные промышленные содержания сравниваются по эффективности эксплуатации месторождения и эффективности капиталовложений и выбирается оптимальный вариант кондиций.

Существующая методика обоснования кондиций несовершенна, так как она не обеспечивает однозначного решения при выборе оптимального варианта из-за отсутствия единого критерия экономической оценки месторождения. При ее использовании приходится оперировать множеством взаимосвязанных кондиционных показателей, что приводит к избытию вариантов и исключает возможность их полного перебора. В значениях основных кондиционных показателей к оконтуриванию запасов недостаточно конкретизирован их горно-технологический и экономический смысл, что затрудняет оценку количества и качества извлекаемых запасов.

Для обоснования оптимальных кондиций штокерных и жильных месторождений А. М. Марголиным [25] предложена существенно иная методика расчета. В качестве основного критерия экономической оценки разведываемого месторождения им принимается максимум ожидаемой прибыли от промышленного освоения запасов с учетом фактора времени при заданном уровне предельных затрат на получение единицы минерального сырья (см. главу XI, § 2).

А. М. Марголиным показано, что минимальное промышленное содержание и кондиции к оконтуриванию продуктивных залежей могут быть выражены единым показателем — содержанием полезного компонента в «элементарном объеме селекции». Под элементарным объемом селекции подразумевается минимальный объем недр, который технологически возможно выделить из массива полезного ископаемого при выбранном способе и системе разработки

месторождения. Для штокверковых месторождений, обрабатываемых открытым способом, элементарный объем селекции — это параллелограмм, размеры которого определяются высотой уступа карьера, шириной и длиной заходки экскаватора.

Главное достоинство методики заключается в том, что устанавливая технологическую роль и оптимальные размеры объемов селекции удается резко сократить количество кондиционных показателей к оконтуриванию запасов. Для штокверковых месторождений достаточно установить минимальное содержание в объеме селекции и рассчитать контурный коэффициент вскрыши.

При оценке жильных месторождений в качестве объема селекции рассматривается эксплуатационный блок, а в качестве важнейшего кондиционного показателя — минимальное промышленное содержание металла на блок. Другим определяющим показателем кондиций при оценке жильных месторождений является показатель компактности — отношение общей площади жилы, охватываемой горноподготовительными работами, к площади кондиционных блоков. Величина показателя компактности зависит от принятого

минимального промышленного содержания, а по смыслу он является характеристикой, обратной коэффициенту рудоносности.

Предложенная методика обеспечивает возможность выявления заведомо лучших вариантов кондиций и промышленного освоения месторождений по сравнению с вариантами, выбранными традиционными способами. Это подтверждается на примере штокверкового редкометального месторождения, для которого традиционными методами было рассчитано пять вариантов кондиций с различными годовыми производительностями предприятия по руде и карьера по горной массе при соответствующих бортовых и минимальных промышленных содержаниях, коэффициентах рудоносности и других кондиционных показателях. Наилучший вариант этих кондиций (табл. 11, графа 2) характеризует предприятие как убыточное. Оценка этого же месторождения по методике, предложенной А. М. Марголиным, свидетельствует о возможности его рентабельной эксплуатации (см. табл. 11, графу 3).

Таблица 11

Сопоставление вариантов кондиций и технико-экономических показателей эксплуатации месторождения, рассчитанных традиционными методами и по методике, предложенной А. М. Марголиным

Показатели	Традиционный метод (наилучший вариант)	Методика А. М. Марголина (по целевой функции)
Показатели кондиций		
Минимальное промышленное содержание, %	0,6	—
Бортовое содержание, %	0,25	—
Максимальная мощность пустого прослоя, м	4	—
Рабочая мощность, м	2	—
Коэффициент рудоносности	0,55	—
Предельный коэффициент вскрыши	8	—
Предельная глубина разработки, м	350	—
Минимальное содержание в объеме селекции	—	0,45
Контурный коэффициент вскрыши	—	6,7
Основные технико-экономические показатели		
Производительность предприятия по руде, млн. т/год	1	1,88
Производительность карьера по горной массе, млн. т/год	8,8	17,2
Сумма эксплуатационных затрат, млн. руб.	362	613
Продолжительность эксплуатации месторождения, лет	21,5	21,5
Капитальные вложения, млн. руб.	79	116
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	23	8,4
Прибыль от промышленного освоения месторождения, млн. руб.	5,1	178,3

Подсчет запасов полезных ископаемых

Систематический и своевременный учет запасов имеет особенно важное значение в нашей стране в связи с планомерным развитием народного хозяйства и с непрерывно возрастающими потребностями в минеральном сырье. Согласно законодательству СССР и Союзных республик о недрах, все организации, осуществляющие их геологическое изучение, обязаны обеспечивать полноту изучения геологического строения недр, достоверность определения количества и качества основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и содержащихся в них полезных компонентов. Правильная оценка качества и условий пространственного размещения запасов способствует рациональному использованию и охране недр. Поэтому выделение капитальных вложений на строительство горных предприятий производится в нашей стране только при наличии на месторождении разведанных запасов полезных ископаемых, утвержденных ГКЗ СССР.

Подсчет запасов — это не только совокупность вычислительных операций, но главным образом анализ и обобщение всех экспериментальных данных, полученных в процессе геологического изучения месторождения. В отчете о результатах геологоразведочных работ обосновываются представления о структуре месторождения, строении и условиях залегания тел полезных ископаемых, об их составе, технологических свойствах и условиях разработки, оцениваются перспективы месторождения, правомерность принятой методики разведки месторождения, опробования и подсчета запасов полезного ископаемого. Содержание и оформление материалов по подсчету запасов определяется специальной инструкцией ГКЗ СССР.

§ 1. Способы подсчета запасов

При оценке геологических запасов в недрах подсчитываются запасы полезного ископаемого Q и часто запасы содержащихся в нем полезных компонентов P . Общие формулы подсчета запасов:

$$Q = Vd, \quad (10.1)$$

$$P = Vdck,$$

где V — объем подсчетного блока;

d — объемная масса полезного ископаемого (руды);

c — среднелеблочное содержание полезного компонента;

k — поправочные коэффициенты к подсчету запасов.

Способы подсчета запасов основаны на двух главных принципах, на преобразовании сложных по форме тел полезных ископаемых в равновеликие им по объему, но более простые по форме геометрические тела и в распространении экспериментальных геологоразведочных данных, полученных по отдельным разведочным пересечениям, на прилегающие к ним объемы недр. Известно около 20 способов подсчета запасов [23, 35], из которых в практике геологоразведочных работ широким применением пользуются только три: способы разрезов, блоков и статистические. Другие способы подсчета запасов не получили широкого распространения из-за формально-геометрического подхода к выделению подсчетных блоков (способы треугольников, четырехугольников, ближайшего района, изолиний, изогипс и др.) либо потому, что по существу они являются вспомогательными приемами и обеспечивают выполнение только отдельных операций подсчета запасов (способы косинусов, средней образующей, среднего угла падения, геоморфологический, способ объемной палетки Соболевского и др.).

Запасы почти всех разведанных месторождений могут быть надежно подсчитаны способом разрезов, либо способом блоков. Оба способа позволяют использовать для оконтуривания подсчетных блоков всю совокупность выявленных разведкой геологических данных и не искажают представлений о природных морфологических особенностях залежей полезных ископаемых. Статистический способ подсчета запасов применяется только в исключительных случаях, когда крайне сложное, прерывистое строение полезных ископаемых не обеспечивает представительности обычных методов опробования. Ниже кратко рассмотрим только три перечисленных способа. Более подробные сведения о них и о других способах подсчета запасов приведены в других работах [23, 33, 35, 40].

Способ разрезов. Для подсчета запасов используются геологоразведочные разрезы, образующие систему разведочных работ. Контуры запасов отстраиваются в плоскостях геологических разрезов, а границы отдельных подсчетных блоков совпадают с плоскостями разрезов (рис. 54). Запасы подсчитываются отдельно в каждом блоке, а затем суммируются по всей залежи полезного ископаемого.

Способ разрезов обеспечивает наиболее правдоподобное преобразование объемов залежей, а совмещение подсчетных и геологических разрезов в одной плоскости способствует полному учету геологических особенностей месторождения при проведении контуров промышленной минерализации. В зависимости от ориентировки разведочных разрезов различают способы подсчета запасов: вертикальными и горизонтальными, параллельными и непараллельными разрезами. В последнем случае в подсчет объемов вносятся поправки за непараллельность разрезов [35].

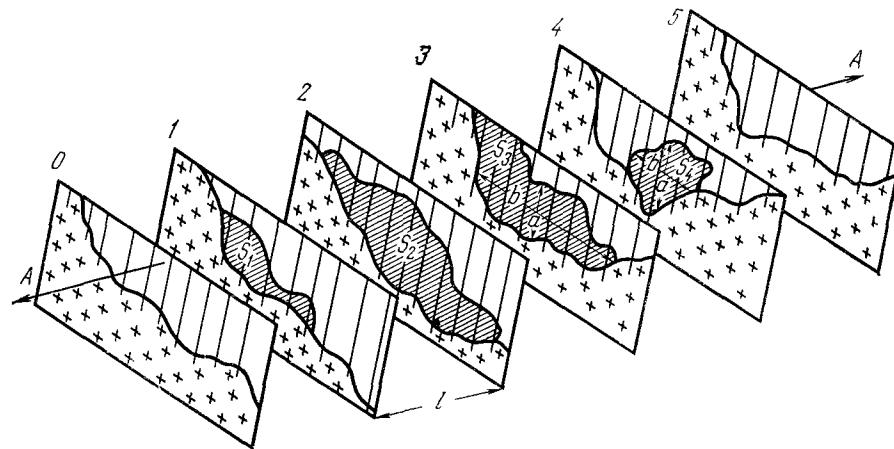


Рис. 54. Способы подсчета запасов разрезами (заштрихованы фактические площади рудных тел в разрезах)

Для вычисления объемов блоков между разрезами, расположенными друг от друга на расстоянии l в зависимости от форм и соотношения площадей продуктивных залежей S_1 и S_2 применяются формулы:

призмы

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l, \quad (10.2)$$

если площади обоих сечений примерно равновелики;
усеченной пирамиды

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} l, \quad (10.3)$$

если площади смежных сечений имеют подобные и близкие к изометрической формы, но различаются по величине более чем на 40%;

«обелиска»

$$V = \left(S_1 + S_2 + \frac{a_1 b_2 + a_2 b_1}{2} \right) \frac{l}{3}, \quad (10.4)$$

если формы смежных, не подобных друг другу площадей характе-

ризируются размерами соответственно a_1b_1 и a_2b_2 по двум взаимно-перпендикулярным направлениям;

конуса

$$V = \frac{S_1}{3} l \quad (10.5)$$

или клина

$$V = \frac{S_1}{2} l \quad (10.6)$$

в зависимости от характера выклинивания крайних блоков.

Объемы блоков можно рассчитать и по универсальной формуле Я. М. Фейгина

$$V = K \frac{S_1 + S_2}{2} l, \quad (10.7)$$

в которой коэффициент K определяется по специальной номограмме в зависимости от соотношения $S_1 : S_2$ или по формулам, предложенным Ж. Матероном

$$\left. \begin{aligned} V_{1-2} &= \left(1,083 \frac{S_1 + S_2}{2} - 0,083 \frac{S_0 + S_3}{2} \right) l, \\ V_{0-1} &= (0,666S_1 + 0,416S_0 - 0,083S_2) l, \end{aligned} \right\} \quad (10.8)$$

которые обладают сглаживающим свойством, учитывая влияние смежных разрезов.

Площади залежей в контурах промышленной минерализации измеряются непосредственно на разрезах с помощью планиметра или палетки.

Способ разрезов позволяет наиболее полно учесть и отразить геологические особенности строения месторождений и залежей полезных ископаемых. Применение этого способа особенно эффективно при подсчете запасов в залежах сложной формы и большой мощности. Наиболее существенный недостаток способа разрезов — ограниченность его применения (только для случаев разведки системами поперечных разведочных разрезов). Данные по разведочным пересечениям, расположенным не в плоскостях поперечных разведочных разрезов не могут быть использованы для вычисления основных подсчетных параметров. В таких случаях разведанные запасы подсчитываются способом блоков.

Способ блоков применяется для подсчета запасов залежей полезных ископаемых, разведанных по неправильной геометрической сети, когда построить систему поперечных разведочных разрезов не удастся, а также для подсчета запасов маломощных пласто- и жиллоподобных залежей.

При подсчете запасов способом блоков площадь залежи разделяется на отдельные участки — блоки. Объем залежи при этом преобразуется в ряд сомкнутых фигур с высокими, равными средним мощностям подсчетных блоков. Крутопадающие залежи проектируются на вертикальную плоскость, а пологопадающие — на

горизонтальную. Неизбежные искажения площадей на вертикальных или горизонтальных проекциях компенсируются тем, что в подсчетах используются не истинные, а горизонтальные или вертикальные мощности, значения которых вычисляются для каждого рудного пересечения по тригонометрическим формулам.

В практике геологоразведочных работ применяются три наиболее распространенных разновидности рассматриваемого способа: среднего арифметического, геологических блоков и эксплуатационных блоков.

Способ среднего арифметического применяется на ранних стадиях геологоразведочных работ для ориентировочных оценок предварительно оцененных запасов. С этой целью вся залежь полезного ископаемого приравнивается к равновеликой фигуре — диску с высотой, равной средней мощности залежи и с периметром, соответствующим внешнему контуру. Площадь измеряется планиметром или палеткой, а средняя мощность вычисляется по совокупности всех разведочных пересечений, вошедших в контур. Запасы подсчитываются по формулам:

$$V = Sm; \quad Q = Vd; \quad P = Q \frac{c}{100}, \quad (10.9)$$

где V — объем залежи;

S — площадь залежи на проекции;

m — средняя горизонтальная (или вертикальная) мощность залежи;

Q — запасы полезного ископаемого;

d — объемная масса полезного ископаемого;

P — запасы полезного компонента;

c — среднее содержание полезного компонента в объеме залежи.

Способ геологических блоков отличается от способа среднего арифметического тем, что в общем контуре по совокупности геологических признаков выделяется ряд самостоятельных подсчетных блоков. Подсчет запасов производится отдельно по каждому из выделенных блоков. Кроме геологических признаков при выделении самостоятельных блоков учитываются степень их разведанности и горно-технологические свойства полезного ископаемого.

В случаях геометрически неправильной разведочной сети способ геологических блоков является единственным рациональным способом подсчета запасов. Этот способ неприменим для подсчета запасов складчатых и других сложнопостроенных залежей, формы которых резко искажаются при проектировании на плоскость.

Способ эксплуатационных блоков применяется для подсчета запасов маломощных залежей полезных ископаемых, разведанных системами продольных разрезов с помощью горных работ. Под эксплуатационными блоками подразумеваются отдельные участки залежей, оконтуренные горными выработками с двух-трех или с четырех сторон.

Графические построения сводятся к составлению продольных проекций залежей. Запасы полезного ископаемого по каждому эксплуатационному блоку определяются как произведение его площади на среднюю горизонтальную (или вертикальную) мощность и на среднюю объемную массу полезного ископаемого, а запасы полезного компонента — как произведение запасов полезного ископаемого на среднеблочное содержание полезного компонента. Достоинствами способа является простота графических построений и возможность подсчета запасов в контурах обрабатываемых горно-эксплуатационных участков.

При подсчете запасов месторождений, разведанных комбинированными разведочными системами, способы блоков и разрезов часто сочетаются друг с другом. Так, при разведке верхних горизонтов месторождения с помощью горных выработок и подземных скважин, а нижней его части — с помощью колонковых скважин, запасы верхней части подсчитываются способом горизонтальных разрезов, а нижней части — способом геологических блоков.

Статистический способ применяется для подсчета запасов месторождений с крайне неравномерным, гнездовым распределением скоплений ценных минералов, если обычные способы опробования не обеспечивают получения представительных данных. К ним относятся месторождения слюды, пьезокварца, драгоценных камней, исландского шпата, желваковых фосфоритов, янтаря и некоторых других полезных ископаемых.

Сущность способа заключается в том, что по результатам разведочно-эксплуатационных работ определяется среднее количество («выход») полезного компонента, приходящееся на единицу площади или объема залежи. Выход полезного компонента характеризует «продуктивность» изученного участка. Для подсчета запасов среднюю величину продуктивности распространяют на всю потенциально рудосодержащую площадь или объем.

Подсчет запасов категории C_2 на флангах и на нижних горизонтах залежей производится путем экстраполяции данных, полученных на детально разведанных и отработанных этажах с учетом тенденций изменения важнейших оценочных параметров.

При подсчете статистическим способом определяются не геологические, а извлекаемые запасы полезного компонента, что не соответствует принципам учета и подсчета запасов в недрах. Для того чтобы оценить запасы по их состоянию в недрах, к извлекаемым запасам нужно прибавить запасы, заключенные во всех видах потерь, которые определяются экспериментальным путем.

Статистический способ подсчета запасов применяется как вынужденный прием, когда другие методы подсчета не обеспечивают надежных данных вследствие весьма малых размеров скоплений ценных минералов, которые изолированы друг от друга и рассеяны в массе вмещающих пород. В таких условиях зоны влияния отдельных проб практически ничтожны, а числа проб всегда заведомо недостаточно для получения уверенных средних оценок содержания.

Способ подсчета запасов по средней продуктивности может быть с успехом использован и для оценки прогнозных запасов при проведении поисково-оценочных работ.

§ 2. Оконтуривание и блокировка запасов

Запасы полезных ископаемых подсчитываются в установленных контурах. При построении подсчетных контуров максимально учитываются геологические данные, определяющие закономерности пространственного размещения полезных ископаемых в структурах земной коры, и требования горной технологии, обеспечивающие рациональное использование недр и высокую экономическую эффективность разработки месторождения.

Оконтуривание запасов в недрах сводится к проведению общего промышленного контура, которым запасы полезного ископаемого ограничиваются от вмещающих их пород. В пределах общего контура выделяются участки и блоки, различные по строению, морфологии, степени разведанности или составу полезного ископаемого. Эта операция называется **блокировкой запасов**.

Оконтуривание запасов по результатам геологоразведочных работ производится последовательно — сначала по разведочным пересечениям, затем по разведочным разрезам и после этого — в продольных плоскостях продуктивных залежей.

Оконтуривание запасов по разведочному пересечению производится по данным геологической документации и сплошного опробования разведочных скважин или горных выработок в соответствии с утвержденными кондициями к подсчету запасов. Если продуктивные интервалы полезного ископаемого выделяются макроскопически, по данным геолого-геофизической документации, в задачу оконтуривания входит только проверка их соответствия установленным кондициям. Кондиционными считаются интервалы с содержанием полезных компонентов не ниже установленного минимального промышленного и с содержанием вредных примесей не более установленного предела при мощностях не ниже рабочей мощности (или соответствующего метропроцента). Интервалы вмещающих пород (и некондиционных полезных ископаемых) мощностью менее допустимой максимальной мощности пустых прослоев включаются в продуктивный интервал с учетом их разубоживающего влияния, а участки с большими мощностями остаются за пределами продуктивных интервалов.

Если продуктивные интервалы не поддаются выделению по данным геолого-геофизической документации, они выявляются по результатам опробования. Детальность оконтуривания продуктивных интервалов зависит в этих случаях от размеров интервальных проб. Чем меньше их размеры, тем детальнее выявляются особенности строения продуктивных участков и тем точнее проводятся их контуры. Выделение продуктивных интервалов производится по заданному минимальному промышленному или бортовому содержанию полезного компонента. В последнем случае необходимо,

чтобы среднее содержание по выделенному продуктивному интервалу было бы не ниже минимального промышленного. Как и в первом случае, выделение рудных интервалов и разделяющих их участков вмещающих пород производится на основе кондиций (рабочей мощности, максимальной мощности пустого прослоя и требований к подсчету коэффициента рудоносности), а выделение общей продуктивности зоны — с учетом геолого-структурных особенностей разреза рудовмещающих пород.

При оконтуривании полезных ископаемых, опробованных по двум стенкам разведочных горных выработок, данные опробования каждого интервала осредняются, а продуктивные интервалы и участки пустых пород выделяются по средним значениям обеих проб. При нарушении этого требования контуры тел полезных ископаемых приобретают несвойственную им зигзагообразность, природа которых связана только с недостатком эмпирических данных (рис. 55).

При оконтуривании запасов в плоскостях разведочных разрезов и в продольных плоскостях продуктивных залежей или зон данные по разведочным пересечениям распространяются на прилегающие к ним минерализованные участки недр. Оконтуривание производится сначала в плоскостях поперечных геологических (разведочных) разрезов, а затем на вертикальных или горизонтальных проекциях продуктивных залежей или зон. Контуры продуктивных площадей проводятся методом ингерполяции данных между двумя смежными разведочными пересечениями или путем их экстраполяции за пределы разведочных пересечений. Если в смежном пересечении полезная минерализация не выявлена, экстраполяция называется ограниченной; если же данное разведочное пересечение является крайним, то экстраполяция называется неограниченной. В соответствии с этим различают внутренние контуры, проведенные методом интерполяции через разведочные пересечения, вскрывшие кондиционные участки полезных ископаемых, и внешние контуры, проведенные методами ограниченной или неограниченной экстраполяции за пределами кондиционных разведочных пересечений (рис. 56).

При построении разведочных разрезов геолог не располагает сведениями о геологическом строении участков и свойствах полезного ископаемого между смежными разведочными пересечениями и тем более за их пределами. Поэтому задача оконтуривания запасов по разведочным разрезам в отличие от оконтуривания их по разведочным пересечениям всегда в большей или в меньшей степени неопределенна.

При обобщении фактических данных допускается, что контуры запасов между смежными пересечениями изменяются по закону прямой. Если в соседнем пересечении рудный интервал не обнаруживается, то экстраполяция контура ограничивается серединой расстояния между обоими выработками. При неограниченной экстраполяции задача оконтуривания решается еще более приближенно. В то же время заведомо известно, что контуры запасов изме-

няются не по линейным, а по более сложным законам, участки же выклинивания залежей или зон не зависят от расположения выработок разведочной сети.

Оконтуриванию запасов по разведочным разрезам предшествует обобщение геологических данных, построение и взаимоувязка поперечных и продольных геологических разрезов, поскольку рудовмещающие геологические структуры значительно лучше выдерживаются по различным направлениям и обладают более крупными размерами, чем приуроченные к ним тела полезных ископаемых. После обобщения геологических данных на разрезы выносятся толщи «благоприятных» пород, зоны их гидротермального изменения, аномальные геофизические и геохимические поля и другие элементы геологического строения, определяющие возможные пределы пространственного размещения потенциально рудоносных образований. В контурах потенциально рудоносных образований отдельные рудные интервалы и группы сближенных рудных интервалов увязываются в продуктивные залежи, а при наличии достаточных фактических данных и в более мелкие скопления полезных ископаемых.

Для уверенной взаимной увязки всех интервалов с кондиционным содержанием полезных компонентов необходимо располагать исчерпывающими полными данными о геологическом строении полезного ископаемого, количестве последовательных структурных уровней, масштабах и морфологических особенностях скоплений полезного ископаемого на разных структурных уровнях. Для того чтобы объединить в едином контуре два рудных интервала по смежным разведочным пересечениям, нужно быть уверенным в том, что оба они принадлежат к одному и тому же скоплению полезного ископаемого. Если же по совокупности геологических данных такой уверенности нет, то в едином контуре должны объединяться геологически однородные группы сближенных рудных интервалов. В практике геологоразведочных работ это требование нередко нарушается. Иногда в единые рудные тела объединяются маломощные рудные интервалы или рудные пересечения, расположенные в литологически различных породах или в разных тектонических блоках.

Фактические данные, обосновывающие представления о внутреннем строении полезных ископаемых, морфологии и условиях залегания отдельных рудных скоплений, могут быть получены только путем детального геологического изучения и опробования участков горно-эксплуатационных работ или детализационных разведочных участков, на которых выборочная сеть наблюдений сгущена до экономически допустимого предела. При оконтуривании полезных ископаемых прерывистого строения эти наблюдения по аналогии переносятся на смежные участки сходного геологического строения. Таким образом, важнейшая задача оконтуривания запасов в разведочных разрезах сводится к установлению того уровня в строении полезного ископаемого, для которого при данной густоте разведочной сети допустима геометризация его прак-

тически сплошных кондиционных скоплений. Нарушение этого требования приводит к крупным ошибкам оконтуривания, искажениям представлений о строении и качестве полезного ископаемого.

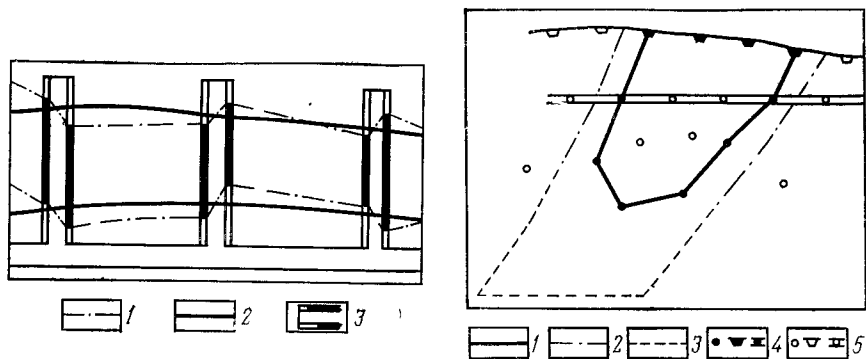


Рис. 55. Пример оконтуривания рудной залежи по данным опробования обеих стенок орта: 1 — неправильное оконтуривание; 2 — правильное оконтуривание; 3 — орты и рудные интервалы

Рис. 56. Схема проведения внутренних и внешних контуров рудных залежей.

1 — внутренний контур, 2 — внешний контур, проведенный по способу ограниченной экстраполяции; 3 — внешний контур, проведенный по способу неограниченной экстраполяции; 4 — рудные разведочные пересечения, 5 — пустые разведочные пересечения

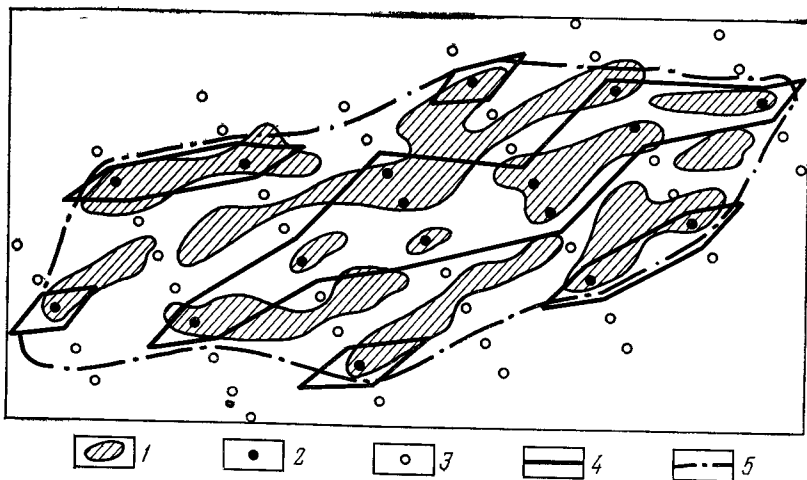


Рис. 57. Пример необоснованного оконтуривания мелких линзоподобных тел по недостаточным разведочным данным. 1 — истинные контуры скоплений; 2 — рудные скважины; 3 — пустые скважины; 4 — необоснованно проведенные контуры; 5 — правильный вариант оконтуривания залежи с учетом пустых участков с помощью коэффициента рудоносности ($K \approx 0,48$)

На рис. 57 приведен пример необоснованного оконтуривания пустых участков и мелких линзоподобных рудных скоплений при разведке пластовой залежи прерывистого строения сетью буровых скважин. Редкая сеть разведочных пересечений не выявляет даже

самых основных закономерностей размещения пустых участков и рудных линз в общем промышленном контуре. По совокупности приведенных разведочных данных можно в лучшем случае провести только общий промышленный контур, а степень рудоносности пластовой залежи оценить с помощью коэффициента рудоносности.

При возможностях многовариантной увязки разведочных данных необходимо выяснить геологические причины локализации скоплений полезных ископаемых. Так, например, формальная увязка контуров рудных тел между тремя разведочными ортами возможна несколькими способами (рис. 58), однако с учетом рудоконтролирующей роли дайки и пострудного нарушения единственно верным является вариант, показанный на рис. 58,г.

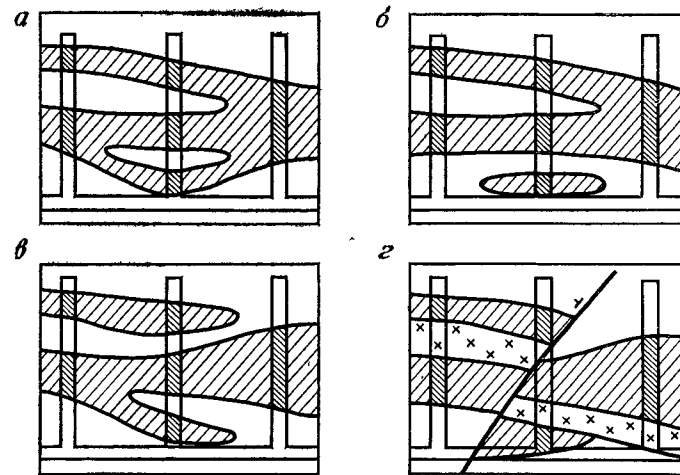


Рис. 58. Примеры многовариантной увязки смежных рудных интервалов (а, б, в) и единственно верный вариант увязки (г), учитывающий влияние геологической обстановки

При проведении контура между двумя разведочными пересечениями, из которых одно вскрывает интервал с кондиционным содержанием полезного компонента, а другое с некондиционным, из-за недостатка фактических данных обычно применяются формально-геометрические приемы оконтуривания:

а) по крайним кондиционным выработкам;

б) на половине, трети или четверти расстояния между разведочными пересечениями с выклиниванием на точку или без выклинивания в зависимости от геологических представлений о характере выклинивания залежей и от близости геологоразведочных параметров по рудному пересечению.

Ограничение контура крайними разведочными пересечениями, вскрывшими кондиционные содержания полезных компонентов, производится обычно при подсчете разведанных запасов по категориям А и В. При подсчетах запасов категории С₁ чаще допускает-

ся ограниченная экстраполяция данных и контур проводится между кондиционным и пустым разведочными пересечениями.

Повышению достоверности оконтуривания запасов способствует детальное изучение естественных форм выклинивания тел полезных ископаемых. Они могут быть связаны с затуханием процесса минерализации, изменениями фациального состава вмещающих пород, с дорудными экранирующими структурами или с пострудными тектоническими нарушениями. В зависимости от этого экстраполяцию их внешних и внутренних контуров следует проводить с учетом конкретных геологических данных.

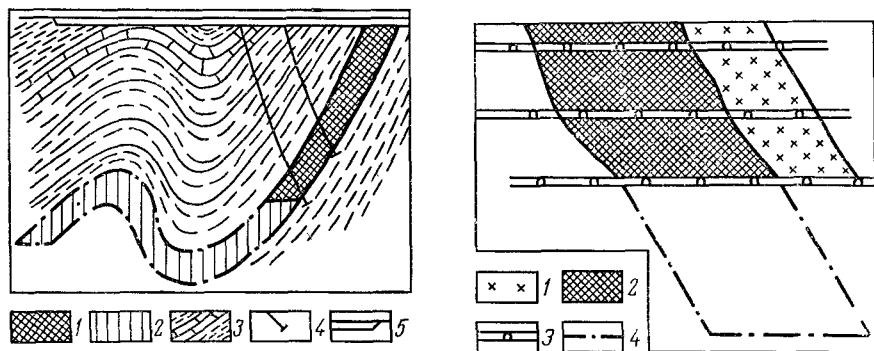


Рис. 59. Схема проведения контура запасов категории C_2 с учетом литолого-структурных данных.

1 — разведанный участок залежи (запасы категории C_1); 2 — запасы категории C_2 ; 3 — вмещающие карбонатно-сланцевые породы; 4 — скважины, 5 — каналы

Рис. 60. Проведение внешнего контура залежи (категория C_2) с учетом элементов ее склона.

1 — экранирующая дайка; 2 — разведанная часть залежи; 3 — горные выработки; 4 — внешний контур

Максимальный учет геолого-структурной позиции залежей полезных ископаемых особенно важен при проведении внешних контуров методами неограниченной экстраполяции при оценке запасов категории C_2 . Поскольку эти запасы определяют промышленные перспективы месторождения и служат основой для проектирования детальных геологоразведочных работ, экстраполяция внешних контуров должна базироваться на солидных геологических прогнозах, но в то же время отличаться смелостью в пределах благоприятных геологических структур (рис. 59).

После оконтуривания запасов по каждому поперечному разрезу их контуры увязываются друг с другом в продольном направлении и выносятся на продольные проекции продуктивных залежей или зон. При этом также учитываются все выявленные связи полезной минерализации с рудовмещающими структурами, геологические элементы, определяющие склона залежей, изменения литологического или фациального состава вмещающих пород экранирующие структуры и др. (рис. 60).

Формальные геометрические приемы проведения контуров применяются только в тех случаях, когда возможности использования геологической информации полностью исчерпаны. При этом выбор расстояний между внешним и внутренним контурами зависит от предположений о степени изменчивости морфологии продуктивной залежи или зоны (от двойной и более до одинарной или половинной длины между смежными разведочными пересечениями). Иногда нижний внешний контур сводится в одну точку, расположенную на некоторой глубине.

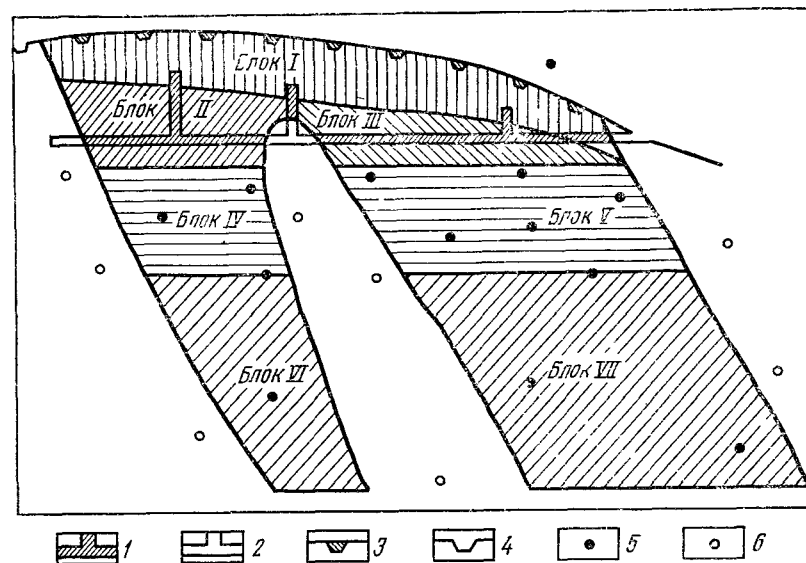


Рис. 61. Пример блокировки запасов рудного месторождения.

1 — рудные штреки и восстающие, 2 — безрудные штреки и восстающие, 3 — рудные каналы, 4 — безрудные каналы, 5 — рудные скважины, 6 — безрудные скважины

Блокировка запасов. Кроме обобщающих контуров продуктивных зон, залежей и скоплений полезных ископаемых при подсчете запасов проводятся внутренние сортовые и блоковые контуры.

Сортовыми контурами ограничиваются зоны окисленных или регенерированных руд и участки, сложенные различными технологическими типами или сортом полезного ископаемого. При этом учитываются особенности гипергенной минералогической зональности и геологического строения участка месторождения — положение современного и древних уровней подземных вод, степень трещиноватости и водопроницаемости вмещающих пород, наличие тектонических нарушений и др. Выявление и оконтуривание природных типов и сорта полезных ископаемых имеет практический смысл только в тех случаях, если предполагается их селективная добыча и переработка. Поэтому сортовыми контурами разделяются не столько природные, сколько технологические типы и сорт полезных ископаемых.

Сортовыми контурами разделяются также обогащенные и обедненные участки полезных ископаемых, в частности, концентративные рудные столбы и разделяющие их участки убогих руд.

Блочными контурами ограничиваются отдельные подсчетные блоки, которые должны отвечать требованиям геологической и технологической однородности, находиться в одинаковых горно-технических условиях и не превышать по запасам установленных кондициями пределов. Нельзя объединять в контурах одного блока участки, различные по составу, качеству и строению полезного ископаемого, участки, резко различающиеся по мощности или по условиям залегания.

Для обеспечения единства горно-технических условий в пределах подсчетных блоков должны сохраняться основные физические свойства полезного ископаемого (устойчивость, крепость, сыпучесть), примерно одинаковый характер изменчивости важнейших геологоразведочных параметров, их приуроченность к горизонтам и этажам горных работ и расположение относительно горно-капитальных и горно-подготовительных выработок. Для месторождений III группы (со сложной морфологией тел полезных ископаемых и большой изменчивостью содержаний полезных компонентов), запасы отдельных блоков не должны превышать годовой добычи проектируемого горного предприятия.

Блокировка запасов показывается на продольных проекциях месторождений (рис. 61). Масштабы проекций выбираются с таким расчетом, чтобы обеспечить достаточную точность измерения площадей графическими методами.

§ 3. Вычисление средних значений геологоразведочных параметров

В соответствии с формулой (10.1) исходными геологоразведочными параметрами для подсчета запасов являются: объем V продуктивной залежи или залежи и объемная масса полезного ископаемого d , содержание полезного компонента c и поправочные коэффициенты k . Для оценки запасов вычисляются средние значения каждого из параметров в подсчетном блоке. Для месторождений полезных ископаемых со слабой и умеренной изменчивостью геологоразведочных параметров удовлетворительные результаты получаются при вычислении их среднечисловых значений простейшими статистическими способами. Однако для месторождений со значительной изменчивостью свойств вычисленные статистические средние могут заметно отличаться от истинных средних, так как при распространении исходных данных по разведочным пересечениям на примыкающие к ним объемы недр возрастают погрешности их распространения (погрешности аналогий). Они зависят от характера изменчивости и анизотропии строения полезного ископаемого, а также от геометрии разведочной сети. Чем резче анизотропия, сложнее строение полезного ископаемого и реже сеть разведочных пересечений, тем значительнее погрешности распростра-

нения исходных геологоразведочных параметров на оцениваемый объем подсчетного блока.

Мощности продуктивных зон или залежей m определяются по данным маркшейдерских замеров в горных выработках или скважинах. В обнаженных стенках горных выработок мощности измеряются непосредственно с помощью рулетки, что обеспечивает высокую точность замеров. В буровых скважинах положение кровли и почвы залежей определяется по керну, техническим показателям бурения и по каротажу, вследствие чего точность замеров заметно

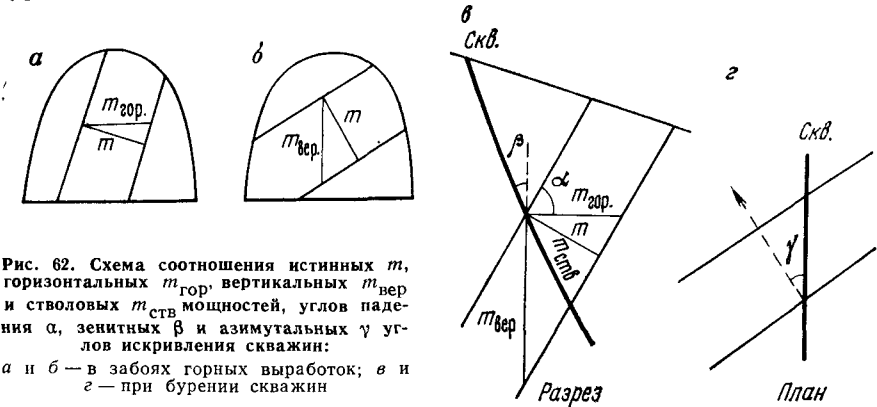


Рис. 62. Схема соотношения истинных m , горизонтальных $m_{гор}$, вертикальных $m_{вер}$ и стволовых $m_{ств}$ мощностей, углов падения α , зенитных β и азимутальных γ углов искривления скважин: а и б — в забоях горных выработок; в и г — при бурении скважин

ниже, а погрешности могут иметь систематический характер. Поэтому определения мощностей по данным бурения должны контролироваться результатами горно-разведочных и эксплуатационных работ.

В зависимости от расположения разведочных пересечений по отношению к элементам залегания тел полезных ископаемых, наблюдаемые мощности могут заметно отличаться от истинных. Замеры мощностей в горных выработках производятся, как правило, в горизонтальном или вертикальном направлениях, в соответствии с чем наблюдаемые мощности называются соответственно горизонтальными $m_{гор}$ или вертикальными $m_{вер}$. Стволовые мощности в скважинах $m_{ств}$ измеряются по произвольному (косому) направлению, которое зависит от элементов залегания тела полезного ископаемого, угла наклона и азимутального искривления скважины (рис. 62).

Для пересчета наблюдаемых мощностей в истинные (ориентированные нормально от кровли до почвы залежи) используются тригонометрические формулы:

$$m = m_{гор} \sin \alpha; \quad m = m_{вер} \cos \alpha; \quad m = m_{ств} \cos (\alpha - \beta), \quad (10.10)$$

где α — угол падения залежи;

β — зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи.

При проектировании продуктивных зон или залежей на вертикальную и горизонтальную плоскость мощности вычисляются как

горизонтальные и вертикальные. Поправки за неперпендикулярность осей скважины к линиям простирания залежей рассчитываются по формуле

$$m = m_{\text{ств}} \cos(\alpha - \beta) \cos \gamma, \quad (10.11)$$

где γ — угол между азимутом скважины и азимутом падения залежи.

Введение этих поправок имеет практический смысл при значениях угла γ более 50° .

Вычисление средних мощностей производится только при подсчете запасов способом блоков. Если в отдельной скважине мощность залежи окажется аномально высокой, необходимо установить причину резкого ее повышения, а в случае необходимости —

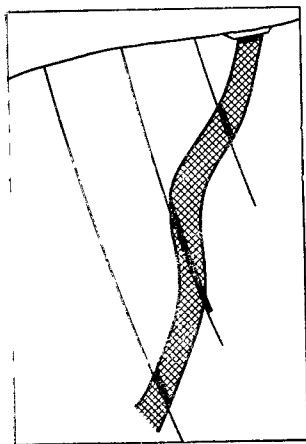


Рис. 63. Схема резкого изменения мощности залежи в связи с местным изменением элементов залегания

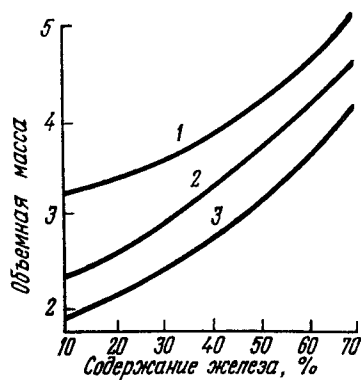


Рис. 64. График зависимости объемных масс железных руд от содержания в них железа (по М. Н. Альбову и А. М. Быбочкину)

1 — магнетитовые руды, 2 — полумартитовые руды, 3 — мартитовые руды

пробурить в непосредственной близости от этой скважины еще несколько контрольных скважин. Резкое повышение мощности может быть связано с местным изменением элементов залегания (рис. 63) или каким-либо другим локальным отклонением условий залегания, формы или строения залежи. Тогда завышающее влияние этой скважины при выводе среднечлочной мощности должно быть исключено. Если пробуренные вблизи контрольные скважины подтвердят тенденцию к заметному завышению мощностей, это должно быть учтено при вычислении среднечлочной мощности.

Площади поперечных сечений продуктивных зон или залежей вычисляются при подсчете запасов способом разрезов графическими методами — с помощью планиметров или палеток. Для этого подсчетные разрезы составляются в крупном масштабе, обеспечивающем достаточно высокую графическую точность измерений.

Обычно измерения площадей проводятся несколько раз, а в подсчете запасов участвуют средние их оценки, при условии что частные замеры расходятся не более чем на 3—5%.

Объемные массы полезных ископаемых (d) определяются лабораторными методами по образцам и в естественном залегании — маркшейдерским способом в целиках и радиометрическим способом (по ослаблению гамма-излучения искусственного источника радиоактивности). Для большинства полезных ископаемых все перечисленные способы обеспечивают получение близких результатов, за исключением сильно трещиноватых и кавернозных руд, для которых достоверны только определения объемных масс в естественном залегании.

Из всех подсчетных геологоразведочных параметров значения объемных масс полезных ископаемых отличаются наименьшими характеристиками изменчивости. Поэтому значения объемных масс определяются не в каждом разведочном пересечении, а выборочно для полезных ископаемых каждого природного типа и сорта, а также для полезных ископаемых, залегающих в породах различного состава. Объемные массы полезных ископаемых функционально связаны с содержанием в них тяжелых компонентов (тяжелых металлов, сульфидов, барита и др.), а объемные массы углей — с их зольностью, степенью метаморфизма и другими свойствами. Для выявления этих связей по результатам испытаний и анализов представительного числа проб, составляются графики зависимости объемных масс от содержаний тяжелых компонентов (рис. 64), по которым определяются среднечлочные объемные массы. Эти зависимости также могут быть выражены уравнениями регрессии или рассчитаны аналитически.

Оценки объемных масс являются важнейшими параметрами подсчета запасов. Ошибка в определении объемной массы приводит к такой же погрешности подсчета запасов, как и ошибка в определении мощности или содержания. Поэтому число лабораторных проб для определения объемных масс по каждому типу и сорту полезного ископаемого должно быть достаточно большим (по крайней мере десятки определений), а достоверность вычисленных оценок должна подтверждаться контрольными данными по определениям объемных масс на месте залегания.

Кроме того, в значения объемных масс обязательно вводится поправка за естественную влажность полезного ископаемого, которая рассчитывается по формуле:

$$d_{\text{сух}} = d_{\text{вл}} \frac{(100 - \omega)}{100}, \quad (10.12)$$

где ω — естественная влажность полезного ископаемого, %.

Специальным указанием ГКЗ СССР значение влажности предлагается рассчитывать как отношение потери массы образца к массе влажного (а не сухого) образца по формуле:

$$\omega = \frac{(p_1 - p_2)}{p_1}, \quad (10.13)$$

где p_1 — масса образца во влажном состоянии,
 p_2 — масса сухого образца.

Поправка за влажность предупреждает возникновение систематической погрешности оценки содержаний полезных компонентов, которые определяются в лабораториях на воздушно-сухую массу полезного ископаемого, в то время как его объемная масса определяется при естественной влажности

Содержания полезных компонентов (c) по разведочным пересечениям определяются по результатам анализов проб или ядерно-физическими методами непосредственно в коренном залегании. В подсчете запасов используются содержания, проконтролированные на стадиях отбора, обработки и анализов проб методами внутреннего и внешнего контроля

Содержания по маломощным разведочным пересечениям, опробованным сплошной бороздой, определяются непосредственно результатами анализов проб. Если же опробование проводилось секционно, то вычисление содержания по разведочному пересечению производится путем взвешивания содержаний в каждой секции на их длины:

$$c = \frac{c_1 l_1 + c_2 l_2 + \dots + c_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (10.14)$$

где c — содержание полезного компонента по разведочному пересечению;

$c_1; c_2; \dots; c_n$ — содержание полезного компонента в отдельных секциях бороздовых (или керновых) проб;

$l_1; l_2; \dots; l_n$ — фактические длины опробованных секций.

Поправочные коэффициенты к подсчету запасов (k) разделяются на две группы: связанные с недостатком геологоразведочных данных и связанные с низким качеством геологоразведочных работ.

К поправочным коэффициентам, связанным с недостатком геологоразведочных данных, относятся:

- коэффициент рудоносности;
- коэффициент на безрудные дайки;
- коэффициент на закарстованность;
- коэффициент на льдистость;
- коэффициент на валунистость или каменистость.

Необходимость введения этих поправочных коэффициентов возникает в связи с тем, что те или иные заведомо безрудные участки обладают меньшими размерами по сравнению с размером ячейки разведочной сети. Поэтому в процессе разведочных работ выявляются лишь некоторые из них, а суммарное влияние безрудных участков на количество и запасы полезного ископаемого может быть оценено только статистически. Все перечисленные коэффициенты уменьшают запасы полезного ископаемого, так как объемы нерудных или некондиционных участков, безрудных даек, карстовых полостей, ископаемого льда, безрудных валунов или камней

исключаются из общего объема полезного ископаемого в промышленном контуре. Применение этих коэффициентов оправдано только в тех случаях, если при последующей эксплуатации месторождения безрудные участки могут быть оставлены в недрах, отработаны селективно или отделены от полезного ископаемого в процессе рудоразборки

Значения поправочных коэффициентов должны быть надежно обоснованы по достаточно большому числу наблюдений, а их достоверность подтверждена статистическими расчетами. Поправочные коэффициенты на безрудные дайки, закарстованность и льдистость так же, как и коэффициент рудоносности, оцениваются по соотношениям суммарных мощностей безрудных интервалов к суммарной мощности продуктивной зоны или залежи

Коэффициенты валунистости или каменистости определяются по крупным валовым пробам россыпных месторождений и рассчитываются по формуле

$$k_k = \frac{V_0 - V_k}{V_0}, \quad (10.15)$$

где V_0 — объем валовой пробы;

V_k — объем безрудных валунов (или камней) в пробе

К поправочным коэффициентам, связанным с низким качеством геологоразведочных работ, относятся

коэффициенты, исправляющие систематические погрешности замеров мощностей в буровых скважинах вследствие неполного выхода керна, неучтенного искривления скважин и других причин;

коэффициенты, исправляющие содержание полезных компонентов вследствие избирательного выкрашивания проб, избирательного истирания керна или систематических погрешностей анализов проб,

коэффициенты, исправляющие средние значения геологоразведочных параметров, запасы полезных ископаемых и полезных компонентов в связи с систематическими расхождениями данных буровых и горных работ, результатов разведки и эксплуатационно-разведочных работ, данных рудников и обогатительных фабрик;

коэффициент на намыв в связи с тем, что при разработке россыпей извлечение полезного минерала оказывается систематически выше, чем его подсчитанные запасы

Потребность в ведении перечисленных коэффициентов появляется в связи с ненадежностью исходных геологоразведочных данных, что свидетельствует об упущениях, в методике или технике разведочных работ. Введение поправок, связанных с дефектами геологоразведочных работ, крайне нежелательно, так как они вызывают недоверие к результатам подсчета запасов. Для повышения достоверности подсчета допущенные дефекты должны своевременно выявляться и устраняться. Как исключение, коэффициенты, отражающие дефекты геологоразведочных работ, вводятся в подсчеты запасов лишь по специальным решениям ГКЗ СССР по-

сле бесспорного выявления причин систематических погрешностей и исчерпывающе достоверного обоснования значений поправочных коэффициентов.

§ 4. Распространение содержаний полезных компонентов по разведочным пересечениям на прилегающие к ним объемы недр

Как и при оконтуривании запасов, распространение содержаний возможно методами интерполяции и экстраполяции, что приводит к возникновению соответствующих погрешностей их оценок.

Погрешности линейной интерполяции возникают в связи с тем, что пространственная изменчивость содержаний следует значительно более сложным законам. Кроме того, на погрешности линейной интерполяции накладываются погрешности, возникающие в результате несоответствия средних содержаний полезного компонента в объемах проб их средним содержаниям в объемах оцениваемых блоков. В общем случае пробы с низкими содержаниями приводят к недооценке, а пробы с высокими содержаниями — к переоценке средних содержаний в прилегающих объемах недр.

На величину погрешности интерполяции оказывают влияние геометрия разведочной сети и геометрия оцениваемого объема недр. В частности, несоответствие средних содержаний в пробах и оцениваемых объемах закономерно уменьшается с увеличением размеров проб. Для расчета погрешностей интерполяции требуется проведение сложных вычислительных операций, но все же они могут быть представлены в цифровом выражении с оценкой вероятности того, что вычисленная средняя не выйдет за установленные пределы.

В отличие от погрешностей интерполяции, которые всегда имеют конечное значение, погрешности экстраполяции содержаний могут достигать бесконечно больших значений, так как при распространении эмпирических данных за пределы разведанного объема никогда не исключен случай их практически полного неподтверждения. Для экстраполяции содержаний по геологоразведочным пересечениям за пределы разведанных объемов обычные статистические и геостатистические методы малоприменимы. В этом случае используются методы геометризации, характеристики неслучайной изменчивости геологоразведочных параметров и методы тренд-анализа.

Для вычисления среднеблочных содержаний применяются простейшие статистические способы — среднее арифметическое из n наблюдений или средневзвешенные по фактически опробованным мощностям. Известны и более сложные способы расчета средних содержаний с использованием весовых функций и с учетом анизотропии строения полезного ископаемого, геометрии разведочной сети и подсчетного блока.

В простейших случаях значения весовой функции $\lambda(x)$, определяются размерами геометрических элементов проб и тех объемов,

на которые распространяются содержания по пробам. Взвешивание производится путем умножения содержаний на значения весов, которые определяются весовой функцией $\lambda(x)$, удовлетворяющей условию:

$$\int \lambda(x) dx = 1. \quad (10.16)$$

Поскольку содержание полезного компонента относится к элементарному объему недр, тяготеющему к сквозной линейной пробе, его можно рассматривать как величину, производную от «линейного запаса», т. е. как $\hat{c} = \frac{mc}{m}$, из чего следует вывод о необходимости взвешивания содержаний на длины сквозных линейных



Рис. 65. Соотношения оценок среднего арифметического и среднего взвешенного содержания при различных значениях коэффициента корреляции между мощностью пересечения и содержанием полезного компонента (r_{mc}).
1 — среднее арифметическое, 2 — среднее взвешенное при $r_{mc} < 0$, 3 — среднее взвешенное при $r_{mc} = 0$, 4 — среднее взвешенное при $r_{mc} > 0$.

проб. Впервые в отечественной литературе это положение было теоретически обосновано В. А. Петровым [31]. Позже В. И. Кузьмин [23] подтвердил вывод В. А. Петрова, доказав тождество, связывающее значения взвешенной и арифметической оценок:

$$c_{взв} = c_{ар} (1 \pm r_{mc} V_m V_c), \quad (10.17)$$

где $V_m V_c$ — коэффициенты вариации мощности и содержания;
 r_{mc} — коэффициент их корреляции.

Эта формула выражает зависимость значения взвешенной оценки $c_{взв}$ от изменчивости мощностей m и содержаний c , а также от силы и знака корреляционной связи между ними. При отсутствии корреляционной связи ($r_{mc} = 0$) и при постоянном значении мощности или содержания ($V_m = 0$ или $V_c = 0$) среднее арифметическое содержание равно средневзвешенному. Однако это не означает, что в зависимости от величины произведений $r_{mc} \cdot V_m \cdot V_c$ и числа наблюдений то одна, то другая оценка будет ближе к истинному значению среднего, так как на результат оказывает влияние вероятностный характер получаемых оценок. М. В. Шумилиным [51] экспериментально доказано, что хотя средняя арифметическая оценка хотя и обладает максимальной эффективностью, но является несмещенной только при отсутствии корреляции между мощностями и содержаниями. При наличии же корреляционной связи между указанными параметрами она всегда смещена, в то

время как средневзвешенные оценки остаются состоятельными и несмещенными (рис. 65). На основании сказанного можно сделать только один вывод: при вычислении средних содержаний полезных компонентов их следует рассчитывать как средние взвешенные по мощностям.

Иногда по геологическим соображениям для усиления эффекта взвешивания применяют взвешивание по квадратам значений параметра, а для его ослабления — по корням квадратным из его значений. Однако в каждом таком случае необходимо аналитически или экспериментально доказать, что дисперсия применяемой взвешенной оценки будет наименьшей. Выбор весовой функции, обеспечивающей получение наименьшей дисперсии оценки среднего, представляет собой сложную математическую задачу, которая пока что не имеет общего решения. Применительно к конкретным условиям разведки многих рудных месторождений она решена Ж. Матероном [27] и получила название «крайгинга».

Крайгинг заключается в отыскании наилучшей оценки содержания полезного компонента в подсчетном блоке с учетом его содержаний в пробах, расположенных как внутри, так и вне оцениваемого блока. Смысл крайгинга состоит в том, что содержанию каждой пробы приписывается такой вес, при котором обеспечивается минимальная дисперсия оценки среднего содержания. Определение весов проб производится методами геостатистики с учетом геометрических форм, размеров и взаимного расположения проб и оцениваемого блока. В общем случае, чем больше удалена проба от центра блока, тем меньше приписываемый ей вес.

Задача «крайгинга» для геометрически однородного поля сводится к нахождению наилучшей линейной оценки

$$z^* = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (10.18)$$

истинного среднего содержания z в блоке по ряду проб с содержаниями x_1, x_2, \dots, x_n , расположенных внутри и вне оцениваемого блока. Весовые коэффициенты a_1, a_2, \dots, a_n определяются двумя условиями:

— истинные содержания z и его оценка z^* должны иметь одинаковое среднее значение во всем геометрическом поле, т. е. среднее значение ошибки $z - z^*$ должно быть равно нулю ($\sum_{i=1}^n a_i = 1$);

— коэффициенты крайгинга a_i должны иметь такие значения, чтобы дисперсия оценки истинного содержания $D(z - z^*)$ была бы минимальной. Это условие записывается в виде системы уравнений линейных относительно a_i .

Для рудных месторождений, отвечающих по своему строению так называемой «изотропной схеме», задача дискретного и непрерывного крайгинга решена Ж. Матероном [27].

Дискретный крайгинг позволяет получить оценку среднего содержания в квадратной зоне, тяготеющей к скважине А,

по содержаниям полезного компонента в центральной скважине и в скважинах первого и второго ореолов (рис. 66). Она рассчитывается по формуле

$$z^* = (1 - \lambda - \mu) u + \lambda v + \mu \omega, \quad (10.19)$$

где v — среднее содержание в скважинах первого ореола $B_1; B_2; B_3; B_4$;

ω — среднее содержание в скважинах второго ореола $C_1; C_2; C_3; C_4$;

λ и μ — весовые коэффициенты крайгинга соответственно для скважин первого и второго ореолов.

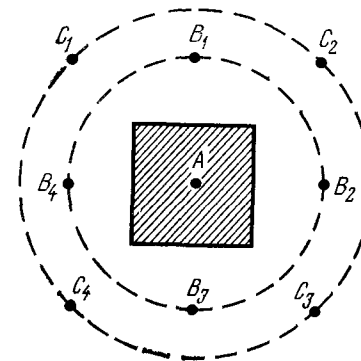


Рис. 66. Схема расположения скважин при дискретном крайгинге.

А — центральная скважина; B_1, B_2, B_3, B_4 — скважины первого ореола; C_1, C_2, C_3, C_4 — скважины второго ореола

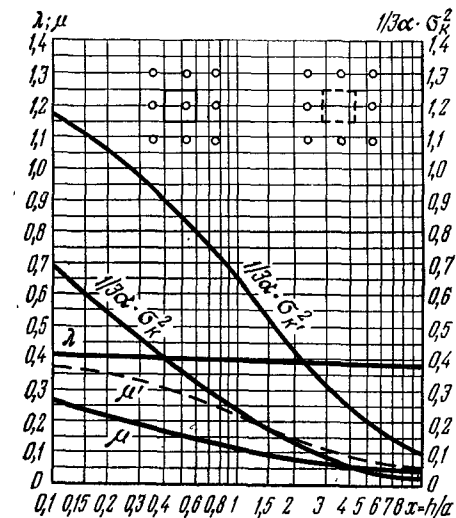


Рис. 67. Номограмма для определения дисперсии крайгинга (случай двух полных ореолов скважин)

Для определения весовых коэффициентов λ и μ используются специальные номограммы (рис. 67).

По оси абсцисс в логарифмическом масштабе отложены значения $x = \frac{h}{a}$, выражающие отношения средней мощности залежи h к величине ячейки квадратной разведочной сети a . По оси ординат указаны значения весовых коэффициентов λ и μ . Будучи умножены на величину коэффициента абсолютного рассеивания 3α , они дают дисперсию крайгинга, т. е. минимизированное значение дисперсии оценки z . Таким образом, поправка к оценке среднего содержания зависит от отношения $\frac{h}{a}$, т. е. от геометрии проб и разведочной сети, но справедлива только для изотропной схемы из-

менчивости свойств полезного ископаемого. Влияние анизотропии может быть учтено путем соответствующего изменения формы ячейки разведочной сети. Использование дискретного крайгинга целесообразно только в условиях эксплуатационно-разведочных работ, когда по данным опробования минных скважин решается вопрос о селективной отработке отбитых рудных масс.

Непрерывный крайгинг позволяет получить оценку средних содержаний в блоках, разведанных системами рудных штреков и восстающих. Простейший пример непрерывного крайгинга в блоке квадратной формы приведен на рис. 68. При изотропном характере изменчивости оруденения в плоскости жилы все четыре выработки имеют одинаковые веса. Если же разделить площадь блока на 25 квадратов, а сумма весов для всех отрезков условно принять равной 1000, то веса проб в центральных отрезках составят 66, а в угловых — только 32.

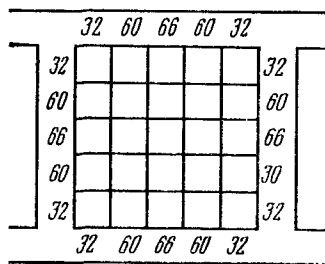


Рис. 68. Веса крайгинга для квадратного блока, разведанного двумя штреками и двумя восстающими

Расчет весов проб для непрерывного крайгинга проводится по аналогии с задачей теории потенциалов с помощью математического аппарата теории функций комплексного переменного. При этом принимается, что замкнутый контур блока представляет собой идеальный экран по отношению ко всем внешним пробам. Ж. Матероном [27] рассчитаны сетки весов непрерывного крайгинга для блоков различной конфигурации по двум (параллельным), трем и четырем оконтуривающим горным выработкам.

Использование непрерывного крайгинга целесообразно в условиях эксплуатационно-разведочных работ при оценке рудных жил и жилоподобных залежей, мощности которых вписываются в перечерные сечения разведочных горных выработок.

Применение дискретного и непрерывного крайгинга уточняет оценки среднеблочных содержаний полезных компонентов. Однако главное практическое значение крайгинга заключается не столько в уточнении средних оценок, сколько в возможности исключить систематические ошибки завышения оценок средних содержаний в богатых блоках.

С проблемой выбора весовой функции тесно связана проблема так называемых «ураганных проб». Ураганными пробами называются пробы с аномально высокими (резко выдающимися) содержаниями, доля которых в случайной выборке существенно выше доли руды с подобными содержаниями полезного компонента в оцениваемом объеме. Ураганная проба отличается от остальных проб весьма малыми размерами реальной зоны влияния, что связано с попаданием в пробу малых по размерам, но очень богатых скоплений полезных минералов. Таким образом, первопричиной появления ураганных проб являются особые природные

свойства полезных ископаемых: прерывистость их строения, высокая изменчивость и резкая неравномерность пространственного размещения концентраций полезных минералов. Уровень наблюдаемой изменчивости содержаний в ряду отобранных проб зависит также от условий геологоразведочных работ, от общего числа проб, их геометрии и от плотности разведочной сети.

При плотной разведочной сети и большом числе проб ураганные их значения обычно не возникают, поскольку доли проб с наиболее высокими содержаниями соответствуют долям руды с подобными содержаниями, а зоны влияния проб охватывают примерно те объемы, на которые распространяются эмпирические данные опробования. При редкой разведочной сети и малом числе наблюдений пробы с теми же высокими содержаниями рассматриваются как ураганные, так как зоны их влияния оказываются несоизмеримо меньше тех объемов, на которые распространяются данные опробования.

Геометрия проб также влияет на наблюдаемую изменчивость содержаний. В случайной выборке ураганные пробы исчезают с увеличением размеров проб, так как при этом снижается изменчивость содержаний и увеличиваются реальные зоны их влияния. Ураганные пробы могут появиться в ряду ранее нормальных проб при уменьшении их размеров. Все это свидетельствует о том, что для решения проблемы ураганных проб необходимо учитывать зоны их влияний в зависимости от геологических особенностей месторождения, геометрию проб и геометрию разведочной сети. При такой постановке вопроса задача выявления ураганных проб теряет самостоятельное значение, сливаясь с проблемой распространения исходных данных по разведочным пересечениям на зоны их влияния.

Предложенные к настоящему времени способы выявления и учета ураганных проб (Беус и Родионов, 1964 г.; Борзунов, 1965 г.; Вилесов, 1940 г.; Володомонов, 1939 г.; Каллистов, 1952 г.; Прерис, 1973 г.; Смирнов, 1950 г.; Юфа, 1962 и др.) основаны на использовании методов математической статистики или эмпирических данных без учета перечисленных выше факторов. Все они предусматривают преднамеренное занижение средних содержаний и запасов руд в блоках с ураганными пробами для уменьшения степени риска при эксплуатации месторождений. Однако для научного обоснования степени риска нужно знать функции вероятных экономических потерь в зависимости от ошибок определения среднеблочных содержаний, применительно к типичным условиям разведки и эксплуатации месторождений. Пока такие функции не будут выведены, страховка останется волевым приемом, основанным только на обобщении практики геологоразведочных работ.

В качестве научной основы для выявления и учета ураганных проб может быть принят принцип минимизации дисперсии оценки среднего содержания полезного компонента в блоках с ураганными пробами. Но для этого необходимо знать размеры фактических зон влияния ураганных проб, учитывать влияние геометрии разведе-

дочной сети, геометрии и числа частных проб. Таких способов выявления и учета ураганных проб пока что не разработано. В первом приближении эта задача может быть решена с помощью рассмотренной выше операции крайгинга.

До тех пор, пока проблема распространения исходных данных по разведочным пересечениям на тяготеющие к ним участки недр не будет практически решена, учет ураганных проб будет зависеть только от воли разведчиков и от соображений конъюнктурного характера. С позиций страховки оценок среднеблочных содержаний от возможного завышения правомерно применение любого из опубликованных в литературе способов.

Основываясь на опыте ГКЗ, И. Д. Коган [21] рекомендует следующую методику выявления и учета ураганных проб.

После того как все аномальные по содержанию пробы будут проверены повторным опробованием или контрольным анализом, необходимо выяснить, нет ли какой-либо закономерности в пространственном размещении выдающихся проб (приуроченности к тектоническим зонам, литологическим разностям пород, «стержневым жилам», обогащенным струям и др.). При выявлении таких участков они должны быть оконтурены в самостоятельные блоки, и подсчет запасов по ним должен производиться без ограничения выдающихся содержаний.

В других случаях отдельные пробы, завышающие средние содержания по разведочному пересечению более чем на 20%, а по блоку более чем на 10% должны относиться к ураганным. Ураганные пробы исключаются из подсчета, а вместо них принимаются пробы с наиболее высоким содержанием из числа рядовых проб по данному разведочному пересечению или блоку соответственно.

Независимо от выбранной методики учета ураганные пробы правомерно выделять только по сквозным разведочным пересечениям, а не по секциям или интервалам, так как в числе прочих факторов «ураганность» конкретных проб зависит от длин интервалов и секций.

Следует иметь в виду, что учет ураганных проб проводится для страховки от завышения средних содержаний по отдельным блокам, а не для страховки от завышения запасов полезных компонентов по всему месторождению в целом. Поэтому дефицит запасов, возникающий вследствие преднамеренного занижения средних содержаний, должен пополняться путем размещения неучтенных запасов по всем подсчетным блокам месторождения, пропорционально запасу каждого из них.

При вычислении средних содержаний по блокам, разведанным с помощью горных выработок и буровых скважин или по неравномерной разведочной сети, веса, придаваемые каждому разведочному пересечению, могут различаться особенно резко. В случае, представленном на рис. 69, ядерным пробам могут быть приданы различные веса, в зависимости от качества опробования буровых скважин и геологических особенностей месторождения. Если качество опробования не вызывает сомнений, а по падению не намеча-

ется закономерных изменений свойств залежи, при выводе среднеблочных содержаний для нижних горизонтов можно приравнять статистический вес каждой скважины к весу одной бороздовой пробы. При отчетливой тенденции к изменению свойств залежи с глубиной средние содержания в блоках нижних горизонтов лучше вычислять только по данным буровых скважин или по совокупности данных опробования нижнего горизонта горных работ и буровых скважин, придавая последним более значительные статистические веса. Если достоверность ядерного опробования вызывает сомнения или изменчивость содержаний настолько велика, что по данным нескольких скважин нельзя уверенно оценить среднее содержание, результаты опробования скважин должны учитываться только для подтверждения оруденения на нижних горизонтах. В этих случаях ядерным пробам придается нулевой вес и в подсчет среднеблочных содержаний они не включаются. По резко сближенным разведочным пересечениям в подсчет среднеблочного содержания включается одна оценка, вычисленная как средневзвешенная по нескольким сближенным разведочным пересечениям.

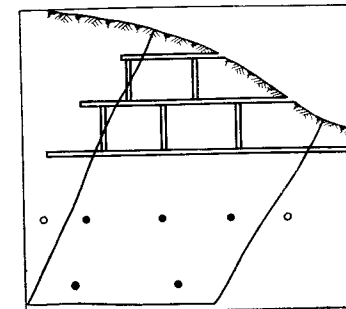


Рис. 69. Схема разведки рудной жилы сочетанием горных выработок на верхних горизонтах и скважин на нижних горизонтах

§ 5. Подсчет запасов сопутствующих компонентов

Важнейшим условием рационального использования недр является извлечение полного комплекса полезных компонентов из добываемого минерального сырья. Для его реализации необходимо своевременно выявить весь комплекс полезных компонентов, установить целесообразность их промышленного использования и подсчитать запасы каждого из них.

Своевременному выявлению всех сопутствующих полезных ископаемых и компонентов способствуют массовые спектральные анализы пород и руд, особенно в начальные стадии разведочных работ. Выявление сопутствующих полезных компонентов имеет смысл лишь в тех месторождениях, которые представляют промышленную ценность по главному полезному ископаемому. Подсчет запасов сопутствующих компонентов производится в контурах подсчета запасов ведущих полезных ископаемых, а подсчет запасов сопутствующих полезных ископаемых — в пределах границ разведываемого месторождения.

Сопутствующие полезные компоненты разведываемых месторождений разделяются на три группы:

- полезные ископаемые;
- полезные минералы;
- элементы, рассеянные в полезных минералах.

Сопутствующие полезные ископаемые залегают в породах вскрыши, перемежаются с залежами главного полезного ископаемого или подстилают их. К ним относятся карбонатные породы, глины, пески, строительные камни, соли, бокситы, фосфориты, апатиты, каолины и другие полезные ископаемые, которые могут быть рентабельно добыты и переработаны попутно с разработкой главного полезного ископаемого.

Например, при разработке железорудных месторождений КМА из пород вскрыши добываются мел, высокосортные пески, фосфориты и глины. Вмещающие породы многих магматогенных месторождений могут использоваться как строительные материалы (щебень, бутовый камень и др.), а хвосты некоторых обогатительных фабрик как ценные полезные ископаемые (кварцевые пески, керамическое сырье) и т. д.

Сопутствующие полезные минералы в рудах или в нерудных полезных ископаемых извлекаются в концентраты или накапливаются в продуктах обогащения основных компонентов, из которых они могут рентабельно извлекаться и перерабатываться. Так, например, в медноколчеданных рудах часто присутствуют минералы цинка, свинца, серы, золота и серебра, а в медноникелевых рудах — минералы платиновой группы, кобальта, золота и серебра. В оловянных рудах часто содержатся минералы тантала, ниобия, бериллия, флюорит, топаз и др. В полиметаллических рудах кроме свинца, цинка и меди обычно присутствуют минералы серебра, золота, висмута, сурьмы, барит и флюорит. Для сурьмяных и ртутных руд иногда характерны примеси золота и серебросодержащих минералов и минералов висмута. Во многих железных рудах присутствуют золото и кобальтсодержащие минералы, медные, титановые, ванадиевые минералы, свинцовые, цинковые и вольфрамовые минералы. В углях встречается пирит, представляющий интерес как сырье для получения серы и др.

Сопутствующие рассеянные элементы содержатся в виде изоморфных примесей в минералах основных и сопутствующих компонентов, в форме металлоорганических соединений в углях или в растворенном виде в нефти, газах и подземных водах. К ним же относятся тонкодисперсные примеси золота, серебра, молибдена и других металлов во многих рудах или минералах. Для различных типов руд характерны определенные комплексы рассеянных элементов. В полиметаллических рудах обычно присутствуют кадмий, индий, селен, теллур, таллий, галлий, реже германий. В медноколчеданных рудах — селен, кадмий, теллур, таллий, германий, галлий и индий, в медистых песчаниках — рений, в медно-молибденовых рудах — рений, селен и теллур, в медно-никелевых рудах — селен, теллур, таллий, галлий и германий. Сульфидно-касситеритовые руды содержат повышенные концентрации индия, а кварц-касситеритовые и вольфрамовые руды — скандия. Для бокситов характерно присутствие галлия и скандия, а иногда и германия. В угольных месторождениях встречаются уран, молибден, ванадий, медь и германий. В высокоминерализованных иодо-бром-

ных водах обычно присутствуют бор, магний, калий, литий, рубидий, цезий, стронций, германий и т. д.

Подсчет запасов сопутствующих полезных ископаемых производится по результатам геологического изучения и опробования горных выработок и скважин, пройденных для разведки основного полезного ископаемого. Разведочные выработки для изучения и оконтуривания только сопутствующих полезных ископаемых на ранних стадиях разведки не проходятся.

На стадии детальной разведки специальная разведка сопутствующих полезных ископаемых проводится только при наличии потребителя на данный вид минерального сырья.

По результатам подсчета запасов оценивается экономический эффект от промышленного использования сопутствующего полезного ископаемого и определяется влияние его добычи и освоения на геолого-экономическую оценку месторождения в целом.

Подсчет запасов сопутствующих полезных компонентов, образующих собственные минералы, а также находящихся в рассеянном состоянии производится в контурах запасов основного полезного ископаемого. Для их изучения и оценки проводятся специальные минералого-геохимические исследования руд и отбираются групповые пробы.

Объединение большого числа навесок рядовых проб в одной групповой пробе уменьшает общее число анализов, но соответственно снижает детальность выявления пространственных закономерностей размещения сопутствующих компонентов в недрах. Запасы сопутствующих компонентов в детально разведанных подсчетных блоках основного полезного ископаемого могут быть отнесены к высоким категориям только в тех редких случаях, когда детальность их опробования и равномерность пространственного размещения не ниже детальности опробования и равномерности размещения основных компонентов. При использовании же групповых проб запасы сопутствующих компонентов обычно квалифицируются не выше категорий С₁.

Кроме статистических анализов групповых проб для подсчета запасов сопутствующих компонентов проводятся количественные анализы мономинеральных проб, продуктов обогащения и переработки полезных ископаемых.

В результате опробования и всестороннего минералого-геохимического изучения полезных ископаемых устанавливается перечень содержащихся в них сопутствующих полезных компонентов, их связь с важнейшими полезными минералами, распределение по сортам и типам полезного ископаемого, продуктам его обогащения и переработки. Выявляется степень равномерности размещения сопутствующих компонентов в контурах основного полезного ископаемого, оцениваются корреляционные связи между содержаниями основных и сопутствующих компонентов. При содержании одного или нескольких сопутствующих компонентов в нескольких минералах составляется баланс их распределения по минеральным составляющим, сортам и типам основного полезного ископаемого,

по продуктам их обогащения, металлургического и химического переделов. По совокупности перечисленных данных запасы сопутствующих полезных компонентов относятся в группу балансовых или забалансовых. Решающее значение при этом имеют потребность в них народного хозяйства, наличие разработанной технологической схемы извлечения тех или иных сопутствующих компонентов и степень их концентрации в продуктах обогащения, металлургического или химического переделов, причем рентабельность их извлечения должна подтверждаться технико-экономическими расчетами.

Из рассеянных элементов в рудных месторождениях практическое значение имеют лишь те, которые связаны с минералами, извлекаемыми в товарные концентраты, или с рудами, которые используются без предварительного обогащения. Они накапливаются в промежуточных и оборотных продуктах металлургического или химического переделов и в отходах производства — пылях, газах, вельцокислах, шлаках, фьюмингвозгонах и др. Возможность накопления рассеянных элементов зависит от применяемых технологических схем и режимов. Так, например, индий, кадмий, галлий и некоторые другие элементы на цинковых заводах можно извлекать из вельцокислов, селен и теллур — на сернокислотных заводах — из шламов, а на свинцовых заводах — из пыли и т. д. Из-за сложности улавливания рассеянных элементов и их рассредоточения по многим продуктам передела сквозное их извлечение на заводах, как правило, не превышает первых десятков процентов.

Накопление рассеянных элементов в продуктах передела происходит независимо от их содержания в рудах. Поэтому они подлежат учету и подсчету во всех случаях, когда их присутствие в исходном сырье достоверно установлено анализами. В связи с этим к качеству и точности анализов на рассеянные элементы предъявляются повышенные требования. Оценка их концентраций производится по мономинеральным пробам, число внутренних и внешних контрольных анализов увеличивается до 10—20% от общего числа, а число контрольных определений возрастает минимум до 30.

При подсчете запасов рассеянных элементов подсчитываются не только их общие (валовые) запасы, но также выделяются запасы, связанные с минералами, извлекаемыми в товарные концентраты.

Кондиции к подсчету запасов сопутствующих полезных ископаемых устанавливаются в соответствии с требованиями промышленности к качеству данного вида минерального сырья.

Кондиции к подсчету запасов сопутствующих компонентов, образующих собственные минералы, рассчитываются по результатам технологических испытаний полезных ископаемых с учетом природных сортов и типов полезных ископаемых. Основным кондиционным показателем является предельное содержание сопутствующего полезного компонента в контурах основного полезного иско-

паемого, обеспечивающего экономическую целесообразность его извлечения в селективный концентрат или в продукт обогащения основных компонентов.

Кондиции к подсчету запасов рассеянных элементов в обогащающихся рудах рекомендуется устанавливать отдельно по каждому полезному минералу, в зависимости от его извлечения в полезный продукт. Целесообразность промышленного использования того или иного рассеянного элемента оценивается по минимально допустимому его содержанию в продуктах заводского передела, с учетом дополнительных затрат, связанных с его извлечением в товарный продукт.

Дополнительный экономический эффект, связанный с получением и реализацией сопутствующих полезных ископаемых или компонентов должен быть учтен при расчете минимального промышленного содержания основного компонента (или комплекса основных компонентов).

Подсчет запасов сопутствующих полезных ископаемых или полезных компонентов с использованием результатов опробования разведочных пересечений по данным анализов рядовых или групповых проб производится обычными методами.

При выявлении отчетливых корреляционных связей между содержаниями основных и сопутствующих компонентов для оценок средних могут быть использованы косвенные — корреляционно-регрессионные методы. Их применение особенно эффективно в тех случаях, когда опробование на основные полезные компоненты может быть выполнено современными ядерно-геофизическими методами, а необходимость механического отбора проб полезного ископаемого возникает только для оценки содержаний сопутствующих полезных компонентов.

Для использования корреляционно-регрессионных методов необходимо располагать результатами массового опробования на основной компонент и выборочными данными по содержанию сопутствующих полезных компонентов в единичных рядовых или групповых пробах.

Задача сводится к подбору необходимого числа проб, представительных по условиям их пространственного размещения, проверке геологической и статистической однородности подсчетных блоков, оценке форм и характера связей между обоими полезными компонентами, построению регрессионных уравнений к подсчету запасов с использованием полученных параметров.

Число проб, определяющее количество пар залежей обоих компонентов, должно обеспечивать статистическую значимость получаемых результатов с заданной достоверностью и вероятностью. Практически оно должно включать не менее 100—150 пар анализов. Проверка геологической однородности подсчетных блоков производится сопоставлением важнейших черт геологического строения и значений ведущих геологоразведочных параметров в пределах всего объема блока. Статистическая однородность может быть оценена одновременным сравнением средних и дисперсий исследу-

емых параметров по блокам, более простыми статистическими приемами или визуально [38].

Принципиально важное значение имеет выбор геометрии проб, так как в зависимости от их длины изменяются не только форма и характер связи взвешенных оценок средних содержаний основного и сопутствующего компонента, но и оценки коэффициентов корреляции между ними (рис. 70). Длина проб должна определяться целевым назначением задачи и соответствовать масштабному уровню изучения объекта. Поскольку объектом оценки является

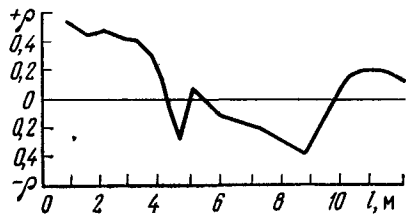


Рис. 70. Изменения оценок коэффициентов корреляции содержаний линейных запасов основного и сопутствующего компонента в зависимости от длины проб (по Е. А. Сидоркову)

подсчетный блок, взвешенные оценки средних содержаний следует рассчитывать по сквозным пробам, пересекающим рудные залежи на их полную мощность. Если бы, например, связь между обоими полезными компонентами оценивалась применительно к сортировке руды в автосамосвалах, длину пробы следовало бы выбрать порядка 2—3 м.

Оценку связи следует начинать с проверки ее линейности, например с помощью критерия Фишера, или приближенно — путем графического построения линии регрессии. Для оценки силы линейной связи применяются коэффициент корреляции, а для нелинейной — корреляционное отношение. В последнем случае для аналитического выражения нелинейного уравнения может быть использована формула параболы. Переход к многочленам более высоких порядков не дает заметного практического эффекта.

Средние содержания сопутствующих полезных компонентов, рассчитанные с помощью составленных уравнений регрессий, используются в дальнейшем для подсчета их запасов в оцениваемых блоках.

§ 6. Подсчет запасов с использованием ЭВМ

В последнее десятилетие ряд научных и производственных организаций проводят опытные работы по использованию ЭВМ для целей подсчета запасов полезных ископаемых. В настоящее время в ГКЗ СССР накоплен некоторый опыт подсчета запасов с помощью ЭВМ на примерах фосфоритовых, флюоритовых, алмазных, вольфрамовых и редкометалльных месторождений.

В использовании ЭВМ для целей подсчета запасов наметилось два принципиально различных пути:

— разработка алгоритмов и программ, позволяющих полностью механизировать все расчетные операции подсчета запасов, по любому из известных способов;

— создание автоматизированных систем подсчета запасов на основе специальных способов подсчета, позволяющих шире использовать возможности ЭВМ.

Для реализации первого пути необходимо заранее геометризовать запасы, выбрать способы их подсчета и вычисления средних оценок геологоразведочных параметров. Получения какой-либо дополнительной информации при этом не ожидается, так как ЭВМ используется в данном случае только как более совершенное техническое средство счета. Вследствие ограничения массива цифровых данных автоматизация вычислительных операций с помощью ЭВМ не приводит в данном случае и к существенному экономическому эффекту.

Второй путь предпочтительнее, так как он обеспечивает получение дополнительной информации за счет более полной обработки исходных данных. Этому способствуют специальные способы подсчета запасов, основанные на методах множественной корреляции, сглаживания или нелинейной аппроксимации наблюдаемых значений геологоразведочных параметров. Так, при значительных отклонениях осей скважин от плоскостей разведочных разрезов, объемы блоков могут вычисляться путем аппроксимации их боковых сторон криволинейными поверхностями, рассчитанными методом наименьших квадратов с помощью степенных полиномов по координатам точек пересечения скважинами лежащих и висячих боков залежи. При вычислении среднеблочных содержаний могут широко использоваться уравнения множественной регрессии или различные модификации крайгинга, применение которых невозможно без ЭВМ. Автоматизированные системы подсчета запасов особенно эффективны при сопоставлении нескольких вариантов подсчета запасов по различным вариантам кондиций и т. д. Таким образом, хотя второй путь и более сложен, он раскрывает большие перспективы, так как позволяет значительно шире использовать возможности ЭВМ и обеспечивает реальный экономический эффект.

Основные трудности перехода к автоматизированной системе подсчета запасов заключается в том, что некоторые операции практически не поддаются автоматизации. В первую очередь это относится к геометризации и блокировке запасов, выполнение которых требует обязательного вмешательства специалиста, что приводит к нерациональному прерывистому режиму работы ЭВМ. Кроме того, большие затраты времени и труда связаны не столько с подсчетами, сколько с подготовительными операциями. Поэтому для эффективного использования ЭВМ при подсчетах запасов полезных ископаемых необходима широкая автоматизация всех стадий сбора и обработки первичной геодезической, геологической, геофизической и геохимической информации. Преодоление этих трудностей будет способствовать созданию автоматизированных систем подсчета запасов и широкому внедрению ЭВМ в практику геологоразведочных работ.

§ 7. Достоверность подсчета запасов и степень их разведанности

Выборочный характер геологоразведочных данных исключает возможность полного совпадения геологической модели месторождения и реального объекта разведочных работ. В процессе его вскрытия, подготовки и эксплуатации выявляются новые сведения, которые в большей или в меньшей степени расходятся с данными подсчета запасов, определяя тем самым погрешности подсчета запасов данного месторождения. Достоверность подсчитанных запасов можно оценить лишь после отработки месторождения путем сравнения разведочных и эксплуатационных данных, а знать ее нужно до начала эксплуатационных работ. Но даже зная расхождения подсчитанных и извлекаемых запасов минерального сырья, нельзя уверенно судить о качестве разведочных работ и точности подсчета запасов, так как при разработке месторождения часть полезных ископаемых неизбежно теряется, а в рудную массу попадают вмещающие породы почвы и кровли залежи. Расхождения в оценках геологических и извлекаемых запасов увеличиваются с усложнением строения месторождений, ухудшением горно-геологических условий их эксплуатации и снижением качества добычных работ. Поэтому использование результатов сравнения разведочных и эксплуатационных данных для оценки достоверности подсчета запасов возможно только после тщательного и всестороннего анализа всех видов потерь и разубоживания по каждому эксплуатационному блоку, что практически почти неосуществимо.

Более уверенное суждение о достоверности подсчета запасов можно получить, сравнивая результаты детальной и эксплуатационной разведок. Однако и эта оценка может быть получена лишь в период проведения эксплуатационно-добычных работ.

Как уже упоминалось ранее, трудности, связанные с получением сравнительных оценок достоверности подсчета запасов, можно преодолеть двумя путями:

— созданием эталонных участков в пределах разведываемых месторождений;

— созданием типизированных геолого-математических моделей отработанных месторождений-аналогов.

Наиболее крупные просчеты в оценке запасов полезных ископаемых возникают при неправильном понимании геологического строения месторождения, необоснованных обобщениях геологоразведочных данных и неверных геологических прогнозах. Они наиболее вероятны при оценке запасов сложностроенных месторождений. Если по результатам разведки нельзя уверенно судить о соответствии или несоответствии геологической модели объекту моделирования, количественная оценка достоверности подсчета запасов лишена здравого смысла.

Сопоставимость разведываемого месторождения и его геологической модели является абсолютно необходимой предпосылкой количественной оценки достоверности подсчета запасов. Уверенность

в соответствии геологической модели объекту моделирования достигается при полном выяснении рудолокализирующего значения всех элементов геологического строения и их однозначной пространственной увязке, исключающей вероятность возникновения других вариантов интерпретации геологического строения разведываемого участка.

Точность подсчета запасов зависит от погрешностей оценок геологоразведочных параметров по разведочным пересечениям и погрешностей их распространения на прилегающие к ним объемы недр. При хорошем качестве разведочных работ погрешности оценок геологоразведочных параметров невелики и имеют случайный характер. Погрешности замеров мощностей в разведочных горных выработках составляют $\pm(1-2\%)$, а в разведочных скважинах (при хорошем выходе керна и правильном использовании результатов каротажа) — не превышают $\pm(3-5\%)$. Погрешности замеров площадей и определения объемных весов также находятся в пределах $\pm(3-5\%)$. Погрешности определения содержаний полезных компонентов по разведочным пересечениям наиболее значительны. Они складываются из случайных погрешностей отбора, обработки и анализа проб. Допустимые пределы случайных погрешностей и анализов на средние содержания различных металлов изменяются от $\pm(2-5\%)$ для богатых, до $\pm(25-30\%)$ для бедных и убогих руд, а для единичных пересечений они могут быть еще больше. Случайные погрешности порядка 10—15% возникают и при вычислении различных поправочных коэффициентов к подсчету запасов. Возможные суммарные технические погрешности подсчета запасов по отдельным блокам, подсчитанные по формуле

$$\Sigma\Delta = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_s^2 + \Delta_d^2 + \Delta_c^2 + \Delta_k^2},$$

могут достигать 12—25% и более. Для всего месторождения в целом технические погрешности определения средних значений геологоразведочных параметров, вычисленные по достаточно большому числу работ, как правило, значительно меньше. В зависимости от общего числа проб n они снижаются n раз, уменьшаясь до $\pm(5-10\%)$ и менее.

При наличии систематических погрешностей технические ошибки могут достигать значительно больших значений. Поэтому их появление свидетельствует о неудовлетворительном качестве геологоразведочных работ.

Основное влияние на точность подсчета запасов оказывают погрешности распространения геологоразведочных параметров по разведочным пересечениям на весь оцениваемый объем недр. Оценка погрешностей распространения имеет реальный смысл только в том случае, если она относится к некоторому заранее установленному объему, достоверность которого оценивается погрешностью геометризации.

В отличие от погрешностей средних значений геологоразведочных параметров погрешности геометризации запасов всегда односторонни. В условиях ограниченной разведочной информации они

приводят к представлениям о более простых формах и строении залежей полезных ископаемых по сравнению с истинными. Поэтому их отрицательное влияние на расчетные технико-экономические показатели работы будущего горного предприятия проявляются особенно резко.

Погрешности оценки среднеблочных содержаний и погрешности геометризации не связаны функционально. Они не могут быть выведены одна из другой и должны оцениваться независимо друг от друга.

Погрешности геометризации зависят от морфологических особенностей залежей и от густоты разведочной сети. Они функционально связаны с мощностями залежей и степенью прерывистости их строения, но не зависят от количества разведочных пересечений. Погрешности геометризации относятся к участкам, разведочным с одинаковой степенью детальности и могут рассматриваться как количественные критерии для разделения разведанных запасов на категории.

Погрешности оценок среднеблочных содержаний полезных компонентов относятся к отдельным подсчетным блокам и зависят от изменчивости качества полезного ископаемого, количества разведочных пересечений, густоты и расположения разведочной сети, геометрии проб и геометрии подсчетных блоков. С увеличением количества разведочных пересечений и с уменьшением расстояний между ними погрешности оценки среднеблочных содержаний закономерно уменьшаются. Оценка погрешностей среднеблочных содержаний полезных компонентов чаще всего имеет смысл как необходимое дополнение к погрешности геометризации запасов.

Глава XI

Оценка экономической эффективности использования месторождения и эффективности геологоразведочных работ

Оценка ожидаемой экономической эффективности от использования месторождения в народном хозяйстве необходима на всех стадиях геологоразведочных работ.

По результатам поисково-оценочных работ на основе прогнозных запасов может быть получено только весьма ориентировочное представление о возможной промышленной значимости месторождения.

На стадии предварительной разведки такая оценка производится при обосновании временных кондиций к подсчету запасов и при составлении технико-экономического доклада (ТЭД) по результатам подсчета запасов. В стадию детальной разведки обеспечивается оценка основных промышленных параметров будущего предприятия и важнейших технико-экономических показателей его эксплуатации. Эта задача решается дважды: в первом приближе-

нии — при разработке кондиций к подсчету запасов, а более детально — в процессе проектирования горного предприятия. Оценка экономической эффективности использования месторождений всегда имеет сравнительный, а не абсолютный характер. Положительная или отрицательная экономическая оценка месторождения зависит от соотношения разведанных запасов данного вида минерального сырья и потребностей промышленности в них. Ведущее значение для оценки имеют перспективные планы развития отдельных отраслей промышленности в конкретных экономических районах, прогнозы развития горнорудной промышленности, научно-технический прогресс в области способов добычи, переработки и использования минерального сырья. При оценке учитывается необходимость экономного и рационального использования недр, полного и комплексного использования минерального сырья.

Затраты на получение продукции горного предприятия не должны превышать некоторого предела, который считается допустимым в существующих условиях. Мерилом общественно-необходимых затрат могут служить затраты, рассчитанные по «замыкающей» себестоимости получения единицы готового продукта.

Оценке возможного экономического эффекта от использования запасов минерального сырья должны подвергаться абсолютно все открытые и разведываемые месторождения полезных ископаемых. Это позволит вовремя отбраковать заведомо непромышленные рудопроявления, выявить наилучшие месторождения и установить очередность детальной разведки и промышленного освоения остальных, менее перспективных месторождений. Строгое соблюдение последовательности в оценке (в соответствии с целями и задачами различных разведочных стадий) и полный охват оценкой всех выявленных и разведываемых месторождений обеспечивают основу рационального планирования геологоразведочных работ и эффективное расходование средств при их проведении.

§ 1. Факторы и показатели оценки

Факторы, определяющие промышленную ценность месторождений и эффективность использования заключенных в них запасов полезных ископаемых, весьма многочисленны [20].

Горно-геологические факторы являются основой экономической оценки месторождений. Они устанавливаются в процессе разведки месторождений и их характеристика составляет главное содержание подсчета запасов.

Социально-экономические факторы определяют потребности народного хозяйства в данном виде минерального сырья и перспективы его использования в связи с экономическим развитием государства. При этом учитываются: обеспеченность страны и конкретного экономического района запасами данного вида минерального сырья, а также его роль в решении задач коммунистического строительства, укреплении экономической независимости, обороноспособности нашей страны и стран социалистического лагеря.

При оценке месторождений принимается во внимание баланс запасов данного вида минерального сырья, определяется степень его дефицитности, перспективы развития горной технологии и внедрения искусственных заменителей. Для месторождений, расположенных в районах со слабой занятостью населения, учитывается социально-экономический эффект от вовлечения рабочей силы в производственную деятельность.

Экономико-географические факторы оказывают решающее влияние на экономическую оценку месторождений широко распространенных видов минерального сырья, запасы которых намного превышают потребности народного хозяйства. При значительной потребности и напряженном балансе дефицитных видов минерального сырья влияние экономико-географических факторов заметно снижается.

К числу благоприятных экономико-географических факторов относятся высокое экономическое развитие и хорошая промышленная освоенность района месторождения, обеспечивающие возможность кооперирования и комбинирования горнорудных предприятий с другими промышленными объектами, наличие водных ресурсов и развитой транспортной сети. Особо важное значение имеет близость горных предприятий и промышленных комплексов, разрабатывающих и потребляющих данный вид минерального сырья.

При оценке экономического эффекта от промышленного использования месторождения учитывается не только влияние экономико-географических условий, но и влияние эксплуатации месторождения на экономическое развитие района. В частности, учитывается ущерб, причиняемый народному хозяйству в связи с отторжением плодородных земель, нарушением режима подземных вод и др.

Совокупное влияние всех оценочных факторов находит свое выражение в показателях экономической оценки месторождений. Общепризнанные критерии оптимальной оценки требуют максимального удовлетворения потребности народного хозяйства в данном минеральном сырье в наиболее короткие сроки и с наименьшими затратами общественно необходимого труда на строительство единицы производственной мощности и выработку единицы продукции. Единого показателя, синтезирующего все перечисленные требования, пока не разработано. В связи с этим полная экономическая оценка месторождения осуществляется по комплексу оценочных критериев, характеризующих эффективность эксплуатации месторождения, эффективность капиталовложений и эффективность эксплуатационных затрат и капиталовложений [20].

К числу оценочных показателей, характеризующих эффективность эксплуатации месторождения относятся:

- годовая производительная мощность горного предприятия,
- выпуск товарной продукции,
- себестоимость товарной продукции,
- прибыль от эксплуатации месторождения,

— рентабельность эксплуатации месторождения

Эффективность капиталовложений в разведку, строительство комплекса горно-добывающих и перерабатывающих предприятий оценивается совокупностью следующих показателей:

— сумма капиталовложений на строительство промышленного комплекса,

— удельные капитальные затраты,

— сроки окупаемости капиталовложений,

— рентабельность на вложенные средства.

При сравнительной оценке нескольких вариантов освоения месторождения или нескольких месторождений эффективность эксплуатационных затрат и капиталовложений оценивается одновременно с помощью показателя «приведенных затрат» на производство единицы товарной продукции.

Приведенные затраты определяются по формуле

$$C_i + E_n K_i \longrightarrow m \cdot n, \quad (11 \text{ 1})$$

где C_i — себестоимость единицы товарной продукции по каждому варианту или по каждому месторождению,

K_i — капитальные вложения в строительство промышленного комплекса по каждому варианту или по каждому месторождению,

E_n — отраслевой нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Размер приведенных затрат служит основой для выбора оптимального варианта промышленного освоения данного месторождения или выбора первоочередного объекта освоения из ряда конкурирующих между собой месторождений. Условием оптимальности решения служит минимум приведенных затрат, обеспечивающий наименьшую себестоимость продукции при наименьших капитальных затратах.

В случаях необходимости (с целью стимулирования технического прогресса, вследствие долговременности строительных программ и др.) величина E_n может отклоняться от ее установленного среднего значения 0,12. В различных отраслях народного хозяйства он колеблется от 0,08 до 0,25. Чем меньше величина E_n , тем ниже приведенные затраты и выгоднее крупные капиталовложения.

Экономическая эффективность использования месторождения полезного ископаемого в народном хозяйстве зависит также от продолжительности его разведки, проектирования и строительства комплекса промышленных предприятий, распределения капитальных вложений по периодам строительства и от изменения текущих затрат в период эксплуатации. Влияние фактора времени особенно сильно сказывается на размерах прибылей и капитальных затрат. Чем дольше отодвигается срок получения прибыли, тем больше она снижается. Поэтому увеличение сроков разведочных работ и промышленного освоения месторождений наносит ущерб народному хозяйству, так как приводит к замораживанию произведенных капиталовложений. Для учета фактора времени при сравни-

тельной оценке экономического эффекта промышленного освоения месторождений ожидаемые прибыли и предстоящие капиталовложения по различным вариантам приводятся к текущему моменту

Прибыль Π , которая будет получена через t лет, в пересчете на текущий момент меньше на величину $1 + E_{\text{нп}}$, где $E_{\text{нп}}$ — нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат. Капитальные затраты, сделанные сегодня, через t лет станут больше на величину этого коэффициента. Величина нормативного коэффициента (учетной ставки) может колебаться от 0,04 до 0,10. В условиях действующего порядка начисления амортизации основных фондов значения $E_{\text{нп}}$ установлено в размере 0,08. При сравнении вариантов разведки и эксплуатации месторождений ожидаемая прибыль приводится к текущему моменту по формуле

$$\Pi_{\text{пр}} = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t}, \quad (11.2)$$

где Π_t — ожидаемая прибыль в t -ом году работы предприятия;

T — срок работы предприятия;

t — порядковый номер года.

Капитальные затраты, приведенные ко времени завершения строительства, вычисляются по формуле

$$K_{\text{пр}} = \sum_{t=1}^T K_t (1 + E_{\text{нп}})^t, \quad (11.3)$$

где K_t — капитальные вложения в t -ом году,

T — срок строительства объекта;

t — порядковый номер года.

Размеры приведенной прибыли общих и удельных приведенных капитальных затрат зависят не только от продолжительности промышленного освоения месторождения и срока существования предприятия, но и от распределения текущих эксплуатационных и капитальных затрат по годам. Поэтому получение максимальной прибыли выгоднее планировать в ближайшие годы эксплуатации месторождения, а при строительстве промышленного комплекса целесообразно планировать прогрессирующее увеличение ежегодных ассигнований в течение всего срока работ.

Примеры влияния фактора времени на экономическую эффективность промышленного использования месторождения приведены в книге Е. О. Погребницкого и В. Н. Тернового [32]

§ 2. Недостатки существующей методики оценки и возможные пути ее совершенствования

Оценка экономического эффекта от промышленного использования месторождений полезных ископаемых в народном хозяйстве, выполненная по комплексу рассмотренных оценочных критериев, обеспечивает полноту сведений и полный учет влияния важ-

нейших оценочных факторов, но исключает возможность однозначного выбора наилучшего из них. Одни месторождения могут оказаться наилучшими по выпуску товарной продукции, другие по прибыли, третьи по эффективности капиталовложений и т. п. Поэтому усилия многих исследователей, особенно в последние годы, были направлены на поиски такого оценочного показателя, который синтезировал бы все или хотя бы важнейшие оценочные критерии. Некоторые авторы пытались использовать показатель приведенных затрат, но он не обеспечивает всесторонней экономической оценки месторождения, а пригоден лишь для сравнения конкурирующих вариантов.

В качестве синтезирующего показателя экономической оценки месторождений Центральным экономико-математическим институтом Академии наук СССР (ЦЭМИ АН СССР) (1970, 1971 гг.) и Комиссией Госкомитета по науке и технике (1974 г.) предложено денежное выражение эффекта от использования запасов минерального сырья в народном хозяйстве. Для этого индивидуальные затраты на производство продукции при эксплуатации данного месторождения сопоставляются с предельно допустимыми — «замыкающими» затратами на этот вид продукции горных предприятий. Разница между замыкающими z_t и индивидуальными s_t затратами, приведенными к одному периоду времени рассматривается как денежная оценка данного месторождения R_d

$$R_d = \sum_{t=1}^T \frac{z_t - s_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \text{ руб.}, \quad (11.4)$$

где T — расчетный период оценки месторождения, исчисляемый, начиная от года проведения оценки ($t=1$) до года отработки месторождения ($t=T$);

z_t — ценность годовой продукции, полученная при эксплуатации данного месторождения (включая все попутно извлекаемые полезные компоненты), исчисляемая в замыкающих затратах t -го года;

s_t — сумма капитальных и эксплуатационных (без отчисления на реновацию) затрат, осуществляемых в t -ом году эксплуатации месторождения;

$E_{\text{нп}}$ — норматив для проведения разновременных затрат к одному периоду (принят равным 0,08).

Оценка R_d представляет собой денежное выражение дифференциальной горной ренты, которая может быть получена при реализации продукции данного горного предприятия.

Денежную оценку, вычисленную для данного месторождения по результатам его детальной разведки, предложено называть кадастровой оценкой, а по результатам предварительной разведки — планово-перспективной оценкой.

В соответствии с исходными положениями ЦЭМИ АН СССР А. М. Марголин [25] принял в качестве основного критерия экономической оценки месторождения максимум дисконтированной

(т е соизмеренной во времени) прибыли от промышленного освоения месторождения при заданном (обоснованном) уровне предельных затрат на получение единицы данного вида минерального сырья

Целевая функция, определяющая максимум дисконтированной прибыли от промышленного освоения месторождения, приведенная на дату начала строительства, имеет вид:

$$B = e^{-\epsilon T} \int_0^N e^{-\epsilon t} \{z(t) [\omega - c(t)] - K(t)\} dt, \quad (11.5)$$

где T — проектная продолжительность строительства горнодобывающего предприятия,

ϵ — норма дисконтирования, 1 год,

N — продолжительность эксплуатации месторождения в годах,

t — время, отсчитываемое от начала эксплуатации месторождения;

$z(t)$ — текущая производительность предприятия,

$c(t)$ — текущие удельные эксплуатационные затраты,

$K(t)$ — текущая плотность капитальных вложений,

$\omega = \Pi \eta m$ — стоимость товарной продукции, извлекаемой из тонны руды, определяемая как произведение среднего содержания металла m , коэффициента его извлечения в готовый продукт η и экономически обоснованных предельных затрат на единицу металла в готовом продукте Π .

Использование дисконтированной прибыли в качестве главного критерия экономической оценки позволяет сделать выбор наилучшего варианта промышленного освоения месторождений практически однозначным. В нем синтезируются почти все основные показатели эффективности эксплуатации месторождения: себестоимость и рентабельность его эксплуатации, годовая производственная мощность предприятия и выпуск товарной продукции в денежном выражении.

Через обоснованную норму дисконтирования учитывается влияние фактора времени на эффективность капитальных затрат и на размеры ожидаемой прибыли, а перспективная потребность общества в данном минеральном сырье и состояние его минерально-сырьевой базы частично учитываются заданным (обоснованным) уровнем предельных затрат на получение единицы продукции.

Однако максимум дисконтированной прибыли не позволяет оценить выпуска товарной продукции в натуральном выражении, учесть влияние разведанных запасов на состояние баланса по отдельным металлам и материалам, перспективы развития данной отрасли минерального сырья в районном и общесоюзном масштабах и степень удовлетворения потребностей в нем народного хозяйства. В нем не находят отражения и важнейшие показатели эффективности капиталовложений: их общая сумма, удельные ка-

питальные затраты, сроки окупаемости и рентабельность на вложенные средства. Поэтому использование дисконтированной прибыли как обобщающего оценочного показателя рационально лишь при сравнительной предпроектной оценке ряда месторождений в таких условиях, когда заранее установлены потребности и перспективы развития данной отрасли минерального сырья, предопределены географические условия используемых месторождений и обоснован уровень предельных затрат на получение единицы товарной продукции.

В действующей методике экономической оценки месторождений весьма слабо учитывается влияние степени достоверности разведанных запасов на экономический эффект от их промышленного освоения. Оно ограничивается тем, что проектирование и строительство горнодобывающих и перерабатывающих предприятия разрешается только на базе разведанных запасов, а предварительно оцененные запасы учитываются только в долгосрочных планах развития предприятий и при освоении мелких, сложных месторождений дефицитных видов минерального сырья.

§ 3. Экономическая эффективность геологоразведочных работ

Экономическая эффективность затрат на геологоразведочные работы позволяет объективно оценить их результаты. Правильный выбор критерия и показателей экономической эффективности геологоразведочных работ является необходимой предпосылкой обоснования предельно допустимых затрат на разведку минерального сырья. В конечном счете экономическая эффективность геологоразведочных работ выражается повышением общественной производительности труда. Поэтому на нее влияют природные особенности разведываемых месторождений, научный уровень и совершенство организации геологоразведочных работ, научно-технический прогресс в геологии и геологоразведочном деле, а также полнота и степень использования минерального сырья в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Общепринятой методики определения экономической эффективности геологоразведочных работ пока что не создано. Наиболее ценные разработки по этому вопросу принадлежат Е. О. Погребницкому (1964 г.), Н. А. Хрущову (1965—1967 гг.), Л. П. Кобахидзе (1973 г.), М. И. Агошкову и Н. А. Хрущову (1973 г.).

Большинство исследователей различают отраслевую и народнохозяйственную экономическую эффективность затрат на геологоразведочные работы.

Отраслевая эффективность отражает результаты проведения геологоразведочных работ по отдельным стадиям. Она определяется объемами и качеством выполнения геологических заданий, затратами на разведку и достоверность полученных сведений.

Оценка отраслевой эффективности необходима для суждения о научном и производственно-техническом уровнях проводимых ра-

бот, совершенстве методики разведки и организации производственных процессов. Уровень отраслевой эффективности служит основой для оценки качества и совершенства работы данной геологоразведочной организации.

Отраслевая эффективность геологоразведочных работ оценивается:

— количеством и качеством выявленных запасов полезных ископаемых по категориям их разведанности;

— приростом \mathcal{E} разведанных запасов Q на 1 руб. затрат Z_p на геологоразведочные работы

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{Z_p}; \quad (11.6)$$

— себестоимостью разведки единицы запасов (удельными затратами)

$$У_{дз} = \frac{Z_p}{Q}, \quad (11.7)$$

— экономией, получаемой в результате выполнения геологического задания

Эти показатели не могут использоваться для сравнительной оценки деятельности геологоразведочных организаций из-за различий в особенностях геологического строения месторождений, составе минерального сырья и природных условиях объектов разведочных работ.

Наиболее полную оценку отраслевой экономической эффективности геологоразведочных работ обеспечивает коэффициент обоснованности затрат (КОЗ), предложенный А. Ф. Струговым [41]. Он выражается как отношение нормативных затрат, необходимых для выполнения заданного объема и качества работ, к фактически произведенным затратам. Под нормативными затратами понимается минимально необходимый уровень затрат для конкретно рассматриваемых условий. Они определяются путем исключения из фактических затрат Z_{ϕ} непроизводительных затрат (НЗ) и выражаются в процентах

$$КОЗ = \frac{Z_{\phi} - НЗ}{Z_{\phi}} 100\%. \quad (11.8)$$

Непроизводительные затраты условно разбиваются на три группы: НЗ первой группы связаны с недостатками в методике проведения разведочных работ (нерациональная геометрия разведочной сети, проходка излишних разведочных выработок, излишества в методике опробования и др.); НЗ второй группы связаны с недостатками в технологии проведения горных и буровых работ, а НЗ третьей группы — с недостатками в организационно-хозяйственной деятельности геологической организации. Наиболее сложно выявление непроизводительных затрат первой группы. Коэффициент обоснованности затрат как показатель отраслевой эффективности успешно апробирован А. Ф. Струговым на примере разведки железорудных месторождений КМА.

В условиях полной хозрасчетной деятельности геологоразведочной организации в качестве отраслевых оценочных показателей могут быть использованы экономия, полученная в результате выполнения геологического задания, и уровень полученной экономии.

Народнохозяйственная эффективность определяет конечный результат геологоразведочных работ с учетом эффекта от промышленного использования разведанных запасов. Этот результат зависит в первую очередь от природных особенностей разведываемых месторождений, а научный уровень и техническое совершенство проводимых работ оказывают на него значительно меньшее влияние. Так, если месторождение расположено в благоприятных географо-экономических условиях, отличается крупным масштабом, высоким качеством и благоприятными технологическими свойствами руд, народнохозяйственная эффективность окажется очень высокой даже при низком научном уровне и техническом несовершенстве проведенных геологоразведочных работ. Если же запасы месторождения окажутся забалансованными, то народнохозяйственная эффективность окажется весьма низкой, несмотря на высокий научный уровень и идеальную организацию разведочных работ.

Народнохозяйственная экономическая эффективность результатов работ геологоразведочных организаций является как абсолютным, так и относительным критерием их деятельности. Она должна определяться по каждому виду минерального сырья, по отдельным разведанным месторождениям и рудным полям, по группам месторождений и рудных полей основных промышленных типов и по сумме балансовых запасов данного вида минерального сырья.

При оценке народнохозяйственной эффективности геологоразведочных работ по регионам, союзным республикам и по стране в целом в общие затраты на разведку данного вида минерального сырья должны включаться расходы на все виды геологических работ, начиная со специализированных поисков.

Для оценки народнохозяйственной эффективности геологоразведочных работ, выполненных на конкретном месторождении, могут быть использованы следующие показатели:

— количество и качество разведанных запасов полезных ископаемых в недрах, пригодных для реализации в народном хозяйстве;

— стоимость разведанных запасов в денежном выражении;

— стоимость разведанных запасов в недрах, приходящихся на 1 руб. затрат на геологоразведочные работы;

— прибыль и дифференциальный рентный доход от реализации разведанных запасов.

В качестве обобщающего показателя народнохозяйственной эффективности затрат на геологоразведочные работы М. А. Агошковым и Н. А. Хрущовым [2] предложен критерий

$$\mathcal{E}_{гp} = \frac{\left[Ц_{бИпер} - \frac{C_T}{K_k} - E_n K_y \right] \frac{BK_n}{T}}{\Phi_p O_p} K_b \text{ руб./руб.}, \quad (11.9)$$

где C_6 — цена 1 т разведанных балансовых запасов по оптовым ценам, руб/т;

$I_{пер}$ — коэффициент извлечения в процессе переработки полезного ископаемого;

C_T — себестоимость добычи и переработки 1 т полезного ископаемого;

K_K — коэффициент изменения качества полезного ископаемого при добыче;

E_H — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K_y — удельные капитальные вложения;

B — балансовые запасы полезного ископаемого;

K_H — коэффициент извлечения разведанных запасов, учитывающий потери полезного ископаемого в недрах;

T — срок отработки разведанных запасов, годы;

K_B — коэффициент, учитывающий фактор времени, равный по Н. А. Хрущову 0,5;

Φ_p — фактические затраты на разведку месторождения, руб.;

O_p — коэффициент, учитывающий удорожание разведочных работ за счет среднеотраслевых затрат на поиски, разведку и отбраковку непромышленных рудопроявлений данного типа.

Величина $\mathcal{E}_{гр}$ показывает, какая доля затрат на геологоразведочные работы окупается за счет получения сверхнормативной прибыли за 1 год работы горного предприятия.

Если использовать рассмотренные выше методические положения ЦЭМИ АН СССР, то в формуле (11.9) для расчета величины C_6 вместо оптовых цен должны использоваться кадастровые, а значение показателя K_B следует принимать равным $\frac{1}{(1+E_{нп})^t}$.

В этом случае сверхнормативная годовая прибыль будет эквивалентна дисконтированной годовой дифференциальной ренте.

Срок окупаемости затрат T на разведку полезного ископаемого представляет собой величину, обратную $\mathcal{E}_{гр}$

$$T = \frac{1}{\mathcal{E}_{гр}} \quad (11.10)$$

Для сравнительной оценки результатов разведки народнохозяйственная эффективность геологоразведочных работ может быть охарактеризована системой косвенных показателей, отражающих соотношения затрат на разведку:

- со стоимостью товарной продукции;
- с себестоимостью товарной продукции;
- с капитальными вложениями в промышленное освоение разведанных запасов месторождений;
- с прибылью от промышленного использования минерального сырья.

Раздел четвертый

Разведка месторождений на разных стадиях изучения недр, различных типов и видов полезных ископаемых

Глава XII

Предпроектные стадии геологоразведочных работ

На каждой стадии содержание разведки, ее методические приемы, способы и методы оценки запасов полезных ископаемых отличаются специфическими особенностями, которые зависят от целей, задач и условий проведения геологоразведочных работ. Между отдельными стадиями в условиях новой системы планирования и материального стимулирования геологоразведочных работ особенно важно проводить четкие границы между ними и строго выдерживать последовательность проведения отдельных стадий. При изучении многочисленных объектов сомнительной промышленной ценности это сокращает до минимума непроизводительные расходы на их разведку и оценку. Только в тех случаях, когда промышленная ценность месторождения очевидна уже на ранних стадиях разведочных работ возможно отступление от этого принципа.

§ 1. Предварительная разведка

Цели, задачи и объекты исследования. Предварительной разведке подвергаются все вновь выявленные рудопроявления (месторождения) полезных ископаемых, получившие положительную геолого-экономическую оценку по результатам поисково-оценочных работ.

Целью предварительной разведки является выяснение общих масштабов промышленной минерализации и среднего качества минерального сырья, общая оценка его технологических свойств и горно-геологических условий эксплуатации месторождения для решения вопроса о целесообразности и очередности промышленного освоения месторождения.

На стадии предварительной разведки вероятно получение как положительной, так и отрицательной геолого-экономической оценки месторождения. Из числа положительно оцененных месторождений далеко не все сразу же осваиваются горной промышленностью. Необходимость получения однозначной геолого-экономической оценки месторождений с минимальными затратами средств

превращает предварительную разведку в исключительно ответственную стадию разведочных работ.

Объектами исследования в стадии предварительной разведки являются месторождения полезных ископаемых в целом. Они могут быть представлены одной продуктивной зоной (толщей) или совокупностью нескольких сближенных продуктивных зон, которые на данной стадии рассматриваются в качестве условно однородных объемов недр. При получении положительных результатов в конце предварительной разведки на типичных (эталонных) участках продуктивных зон проводится выборочное сгущение разведочных выработок для выявления горно-геологических условий будущей эксплуатации месторождений. Они обеспечивают получение исходной информации об изменчивости геологоразведочных параметров в масштабах отдельных продуктивных залежей, что необходимо для суждения о рациональной геометрии разведочной сети при проектировании детальных разведочных работ.

Главными задачами предварительной разведки являются.

— изучение общих геолого-структурных особенностей месторождения, основных закономерностей пространственного размещения полезной минерализации, состава вмещающих пород и важнейших рудовмещающих структур,

— выявление общих контуров месторождения, среднего качества полезного ископаемого, условий залегания, морфологии, строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров продуктивных зон по их мощности, простиранию и падению;

— выборочная оценка условий залегания, морфологии, строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров типичных продуктивных залежей в пределах эталонных участков

— выявление технологических типов полезного ископаемого, их примерных количественных соотношений и главных особенностей технологической переработки,

— оценка общих горно-геологических условий эксплуатации на различных горизонтах и флангах месторождения с их детализацией в пределах эталонных участков,

— сбор исходных данных для расчета ориентировочных технико-экономических показателей возможной эксплуатации месторождения и обоснования временных кондиций при составлении ТЭДа;

— подсчет запасов категории C_2 по всему месторождению и запасов категории C_1 — в пределах участков детализации геологоразведочных работ.

Технические средства геологоразведочных работ. В стадии предварительной разведки на объекте проводится широкий и разнообразный комплекс геологоразведочных работ. Основными техническими средствами предварительной разведки являются: поверхностные горные выработки (канавы, траншеи, шурфы) и буровые скважины, преимущественно колонкового бурения. Подземные горные выработки проходятся по возможности в ограниченных объемах. С усложнением геологического строения месторождений

роль подземных горных выработок как основного технического средства предварительной разведки возрастает

Необходимость оценки промышленной значимости месторождения в короткие сроки и с наименьшими затратами способствует широкому применению методов подземной геофизики, как основного технического средства предварительной разведки. Применение методов радиоволнового просвечивания, вызванной поляризации, подземных гравиметрических, термических, магнитометрических и пьезоэлектрических в скважинных вариантах обеспечивает выявление рудных тел в участках между разведочными пересечениями и разрезами, способствуя сокращению количества разведочных пересечений

При выборе технических средств учитывают характер связи полезных ископаемых с элементами геологической структуры, морфологические особенности и строение скоплений полезных ископаемых, реже — особенности географо-экономического положения месторождения. Используя подземные горные выработки как одно из технических средств, следует иметь в виду, что на стадии предварительной разведки, когда данные о конкретном пространственном размещении залежей полезного ископаемого в недрах еще отсутствуют, возможность рационального расположения разведочных горных выработок с учетом будущих горно-эксплуатационных требований практически исключается

Для предварительной разведки штокверкообразных, пласто- и жилообразных месторождений сотрудниками ВИЭМСа и ВИМСа [8, 30, 36] предложена методика статистического расчета количества разведочных пересечений и плотности разведочной сети в зависимости от предполагаемой площади объекта разведочных работ и общего коэффициента вариации важнейших геологоразведочных параметров по формуле:

$$S_0 = \frac{P_Q^2 S}{t \Sigma V^2} \quad (12.1)$$

где S_0 — площадь ячейки разведочной сети,

P_Q — относительная средняя квадратичная ошибка оценки величины запасов,

S — площадь рудного объекта

t — коэффициент вероятности

ΣV — общий коэффициент вариации важнейших геологоразведочных параметров, $\Sigma V = V_0 = \sqrt{V_{\text{мощн}}^2 + V_{\text{сад}}^2 + V_{\text{плоч}}^2 + V_{\text{об. массы}}^2}$.

Расстояние l между смежными пересечениями (при квадратной сети) вычисляется по формуле

$$l = \frac{P_Q \sqrt{S}}{t V_0} \quad (12.2)$$

а число разведочных пересечений n равно

$$n = \frac{S}{S_0} \quad (12.3)$$

Значения предполагаемой площади и общих коэффициентов вариации принимаются по аналогии с хорошо изученными месторождениями. Площади разведанных объектов одного морфологи-

ческого типа могут изменяться в весьма широких диапазонах (в десятки раз), в то время, как их общие коэффициенты вариации редко расходятся более чем в полтора-два раза (табл. 12).

Во избежание излишних затрат В. А. Петров предлагает ориентироваться на более крупные размеры месторождений и на модальные значения общих коэффициентов вариации, так как не-

Т а б л и ц а 12
Обобщенные характеристики некоторых разведочных месторождений (по данным В. А. Петрова)

Месторождения	Число объектов	Средние характеристики	
		Площадь в условных единицах	Общий коэффициент вариации
Бокситовые	7	2—68	73—99
Сульфидно-никелевые	5	15—66	81—97
Силикатно-никелевые	4	3—17	91—108
Медистые песчаники	2	90—43	128—146
Жильные оловянные	11	0,2—45	142—198
Жильные вольфрамовые	27	0,2—10	124—282
Жильные флюоритовые	5	0,6—2,5	83—128

достаток разведочных пересечений может быть в дальнейшем исправлен сгущением разведочной сети. Для использования предложенных формул необходимо задать относительной погрешностью P_Q и коэффициентом вероятности t .

После выявления общих контуров и положительной оценки месторождения в задачу предварительной разведки входит проведение детализационных работ на типичных (эталонных) участках месторождения для выявления особенностей его строения в масштабе продуктивных залежей. Создание хотя бы двух взаимно ортогональных раз-

ведочных разрезов с предельно густой сетью разведочных пересечений, сопоставимой с мощностями продуктивных залежей обеспечивает получение геолого-структурных данных для суждения о примерной геометрии сети при проектировании детальных геолого-разведочных работ.

Документация и опробование разведочных выработок и скважин. К качеству и полноте геологической, геофизической и минералого-геохимической документации скважин и разведочных выработок предъявляются повышенные требования, так как только предельная полнота и высокая достоверность исходных данных могут компенсировать ограниченность числа разведочных пересечений и малую плотность разведочной сети.

Объективные трудности геологической документации на стадии предварительной разведки обусловлены слабым знанием геологии разведываемого месторождения, отсутствием разработанной легенды, эталонных коллекций и гипотетичностью представлений о генетическом и структурном типах месторождения, особенно в начале разведочных работ. Все эти вопросы приходится решать одновременно с проведением геологических наблюдений по разведоч-

ным выработкам и скважинам. Нередко в процессе предварительной разведки сложившиеся ранее представления коренным образом меняются и требуют полного пересмотра, в связи с чем возникает необходимость изменения легенды, повторной документации пройденных пересечений и пересоставления сводных документов.

При опробовании горных выработок и скважин рекомендуется применять оправдавшие себя на практике наиболее совершенные способы пробоотбора, увеличивать количество частных проб, сокращать интервалы опробования до долей метра или отбирать секционные пробы малой длины для повышения детальности изучения внутреннего строения полезных ископаемых в направлении максимальной изменчивости их свойств. Бороздовые пробы рекомендуется отбирать по обеим стенкам горных выработок для получения объективных данных о пространственной изменчивости содержания полезных компонентов, при шаге опробования порядка 2 м.

В разведочных горных выработках рекомендуется отбирать партии контрольных проб валовым способом, а данные опробования скважин проконтролировать хотя бы несколькими горными выработками или скважинами ударно-канатного бурения. Ядерно-физические и другие прогрессивные методы опробования разведочных скважин и горных выработок должны применяться на стадии предварительной разведки с самого начала работ, дублируя механические методы пробоотбора, для накопления сравнительного материала о возможности и условиях применения их в процессе последующих детальных и эксплуатационных разведочных работ.

Технологические свойства полезных ископаемых определяются на стадии предварительной разведки с детальностью, позволяющей судить о возможности промышленного использования добываемого минерального сырья, принципиальной схеме его технологической переработки и о более вероятной ее экономической эффективности.

В случаях особо сложного минерального состава полезного ископаемого и при разведке месторождений новых, еще не освоенных промышленностью технологических типов минерального сырья может потребоваться проведение технологических испытаний на укрупненных полупромышленных пробах.

В разведочных скважинах и горных выработках проводятся структурно-геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения с отбором образцов полезного ископаемого и вмещающих пород для определения их физико-технических свойств — крепости, буримости, трещиноватости, кусковатости, коэффициентов разрыхления и др. По результатам гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений в стадию предварительной разведки производится приближенный расчет возможных водопритоков в эксплуатационные горные выработки и предварительная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождения. На месторождениях крупного масштаба с хорошим качеством полезных ископаемых, но со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями в стадию предвари-

тельной разведки проводится комплекс специализированных гидро-геологических и инженерно-геологических работ.

Детальность изучения технологических свойств минерального сырья, горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации в стадию предварительной разведки месторождения должна соответствовать требованиям категории C_1 .

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. Составление геологических карт, разрезов и проекций, отражающих результаты предварительных разведочных работ проводятся на топографо-геодезической основе с инструментальной привязкой всех изученных естественных и искусственных обнажений. При обобщении данных геологических съемок результатов документации и опробования эталонных участков используются методы горно-геометрического и геолого-математического моделирования.

Методика подсчета запасов. Подсчет запасов производится на основании временных кондиций, которые составляются в период завершения предварительной разведки с учетом опыта эксплуатации месторождений аналогичного геолого-промышленного типа

При расчетах кондиций возможные масштабы горнорудного предприятия определяются по сумме запасов категорий C_2 и C_1 , часто с учетом геологически обоснованных прогнозных запасов глубоких горизонтов и флангов разведываемого месторождения. Для определения минимального промышленного содержания полезного компонента и минимального запаса полезного ископаемого Н. А. Хрущевым [46] предложено использовать «браковочные кондиции», устанавливаемые для каждого вида минерального сырья. Браковочные кондиции должны определяться не по оптовым, а по расчетным ценам с учетом приведенных затрат, определяющих нормативную эффективность капиталовложений в данную отрасль горнодобывающей промышленности. В зависимости от состояния и перспектив развития сырьевой базы расчетные цены для остро дефицитных видов минерального сырья могут приниматься выше, а для недефицитных — ниже среднеотраслевых оптовых цен. Использование браковочных кондиций способствует снижению расходов на предварительную разведку месторождений и повышению народнохозяйственной эффективности затрат на геологоразведочные работы.

Редкая сеть и ограниченное количество разведочных пересечений создает объективные трудности при оконтуривании промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых. Основными объектами предварительных разведочных работ являются продуктивные зоны, а не слагающие их продуктивные залежи, выявление и оконтуривание которых на этой стадии возможно только выборочно на участках детализационных работ.

Запасы, подсчитанные по данным предварительной разведки, квалифицируются по категории C_2 . При разведке сложно построенных месторождений кондиции к оконтуриванию запасов используются только для выделения рудных интервалов по разведочным пересечениям, а обобщающие контуры продуктивных зон проводят-

ся по совокупности литолого-фациальных, структурных, минералого-геохимических и других геологических критериев. Реже устанавливаются кондиции к оконтуриванию самих продуктивных зон по заданному содержанию ценного элемента в геохимическом ореоле или по предельно допустимому размеру пустого прослоя, учитываемого коэффициентом рудоности.

Приповерхностные и эталонные участки продуктивных зон, разведанные значительно более густой сетью горных выработок и скважин, оконтуриваются как самостоятельные подсчетные блоки, запасы которых могут квалифицироваться по более высокой категории (обычно по категории C_1).

Оптимальные соотношения запасов категорий C_2 и C_1 действующими методическими положениями не устанавливаются. Исходя из целей и задач предварительной разведки основная часть запасов должна разведываться до категории C_2 .

Геологические отчеты по результатам предварительной разведки рассматриваются и утверждаются в ТКЗ. Предварительно разведанные запасы уникальных месторождений и месторождений, оказывающих заметное влияние на состояние минерально-сырьевой базы страны по данному виду минерального сырья, могут рассматриваться в ГКЗ при Совете Министров СССР.

Оценка экономической эффективности промышленного использования месторождения. По совокупности материалов предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором обуславливаются экономическая целесообразность и сроки промышленного освоения месторождения. В технико-экономических докладах высказываются предварительные соображения о возможных способах вскрытия и системах разработки месторождений, масштабах добычи, технологических схемах переработки минерального сырья и качества товарной продукции. С использованием конкретных данных предварительной разведки по аналогии с действующими предприятиями рассчитываются показатели, характеризующие природную ценность месторождения, эффективность его эксплуатации и эффективность капиталовложений

Природная ценность месторождения характеризуется предварительно оцененными запасами полезного ископаемого и содержаниями полезных компонентов. Из показателей эффективности эксплуатации месторождения рассчитываются: ожидаемая годовая производительность рудника, выпуск товарной продукции в натуральном и денежном выражениях, себестоимость продукции, рентабельность эксплуатации и уровень рентабельности в процентах к производственным фондам. Для оценки эффективности капиталовложений определяются: капитальные затраты на строительство горных предприятий, удельные капитальные затраты, срок окупаемости капитальных вложений и уровень рентабельности на вложенные средства. Все перечисленные оценочные показатели рассчитываются по отношению к суммарным запасам месторождения без их детализации по отдельным залежам, горизонтам, блокам и участкам.

§ 2. Детальная разведка

Цели, задачи и объекты исследования. Детальная разведка проводится лишь на тех месторождениях, которые получили положительную геолого-экономическую оценку по результатам предварительных разведочных работ и заслуживают, по заключению ТЭДа, первоочередного промышленного освоения.

Целью детальной разведки является уточнение сведений о запасах, качестве полезного ископаемого, технологических свойствах минерального сырья и горно-геологических условий эксплуатации месторождения по его отдельным участкам, залежам и блокам для проектирования горного предприятия. По результатам детальной разведки производится генеральный подсчет запасов, расчет вариантов технико-экономических показателей промышленная оценка месторождения и его полная геолого-экономическая оценка.

Границы детальной разведки определяются на небольших и средних месторождениях их контурами, установленными в процессе предварительных разведочных работ. На крупных месторождениях детально разведываются только участки первоочередного освоения с разведанными запасами, обеспечивающими работу горнодобывающего предприятия на 8—10 лет.

Основная цель детальной разведки сводится не столько к уточнению общих цифр запасов и средних значений важнейших геологоразведочных параметров по месторождению в целом, сколько к детализации сведений, характеризующих пространственное размещение, условия залегания, морфологию и строение отдельных продуктивных залежей, их участков и блоков, оценке содержащихся в них запасов и качества полезного ископаемого.

Основными объектами исследования в стадии детальной разведки являются продуктивные залежи, т. е. такие скопления полезных ископаемых, которые представляют собой объекты самостоятельной горной подготовки. Они могут быть представлены практически сплошными скоплениями полезного ископаемого или совокупностью сближенных, но пространственно изолированных скоплений. В завершающие периоды детальной разведки на типичных (эталонных) участках продуктивных залежей должны проводиться детализационные работы, обеспечивающие сбор исходной информации для проектирования горно-добывочных работ в масштабах отдельных эксплуатационных участков и очистных блоков. Информация, полученная в результате детализационных работ используется для обоснования наиболее эффективных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче.

Главными задачами детальной разведки являются:

— изучение геолого-структурных особенностей, закономерностей пространственного размещения и условий рудоконтроля продуктивных залежей, их минерального и литолого-петрографического состава вмещающих пород;

— выявление контуров, условий залегания, морфологии и строения каждой продуктивной залежи, характеристик изменчивости геологоразведочных параметров и качество полезного ископаемого по их мощности, простирацию и падению;

— выборочная оценка строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров полезного ископаемого в пределах эксплуатационных участков и блоков;

— детальное изучение вещественного состава полезного ископаемого и его технологических свойств, отдельно по каждому технологическому типу минерального сырья с проведением технологических испытаний в полупромышленном, а если необходимо, то и в промышленном масштабах;

— детальное изучение горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождения по отдельным продуктивным залежам и их участкам с предельной детализацией данных на эталонных участках;

— выявление и разведка источников питьевого и технического водоснабжения, местных строительных материалов, строительных площадок и др.;

— разработка кондиций, подсчет запасов категорий А, В и С₁ по отдельным залежам и участкам детализационных работ и запасов категории С₂ на флангах и глубоких горизонтах месторождения.

Технические средства и общая последовательность геологоразведочных работ. В отличие от стадии предварительной разведки решающее значение на выбор технических средств детальных разведочных работ оказывают не только геологические, но и некоторые горно-технологические факторы. Месторождения, намечаемые к отработке открытым способом или путем подземного выщелачивания, разведываются преимущественно буровыми скважинами, а месторождения, предназначенные к отработке подземным способом, — в большей степени горными выработками. Возможность использования разведочных горных выработок при последующей эксплуатации месторождения зависит от сложности его геологического строения и масштабов промышленной минерализации. Если месторождение залегает в простых геологических условиях, при проектировании и проходке вскрывающих и подходов горно-разведочных выработок могут быть учтены не только разведочные, но и будущие эксплуатационные требования. В месторождениях со сложным геологическим строением проведение горных выработок с учетом их использования при будущей эксплуатации нецелесообразно, так как из-за недостатка данных о пространственном размещении запасов полезного ископаемого в недрах оптимальное расположение эксплуатационных горных выработок становится невозможным. Однако при детальной разведке мелких месторождений, независимо от их сложности, следует стремиться к тому, чтобы вскрывающие горные выработки могли быть в дальнейшем использованы для отработки разведанных запасов, поскольку в условиях мелкого горного предприятия проходка новых горно-

капитальных выработок, как правило, экономически нерациональна.

Геометрия разведочной сети устанавливается в начале детальной разведки по данным изучения эталонных участков в процессе предварительных разведочных работ.

В условиях слаборасчлененного рельефа и пологих падений продуктивных залежей развитие разведочной сети производится сначала в приповерхностных участках, преимущественно в горизонтальных направлениях с максимальным охватом флангов месторождения и только после детального изучения его поверхностных горизонтов начинается развитие разведочной сети на глубину. В условиях расчлененного рельефа детальную разведку начинают обычно с наиболее глубоких горизонтов, доступных для штольневой вскрытия, что способствует быстрой и объективной оценке центральных, часто наиболее продуктивных участков месторождений.

Месторождения или их участки, намеченные под детальную разведку, изучаются сначала по разведочной сети, обеспечивающей оценку и подсчет запасов полезного ископаемого во всем объеме по категории C_1 , после чего производятся детализационные разведочные работы на эталонных участках. Эталонные участки должны быть типичными по отношению к основной массе запасов как с точки зрения геологического строения месторождения и вещественного состава полезного ископаемого, так и по геологоразведочным параметрам продуктивных залежей. На месторождениях первой и второй групп по классификации ГКЗ СССР разведанность запасов на эталонных участках доводится до категорий А, В, а на месторождениях третьей группы сеть разведочных выработок сгущается до пределов, обеспечивающих выяснение всех горно-геологических условий и выбор наиболее эффективных систем отработки месторождения. Практически это означает, что густота разведочной сети должна обеспечивать выявление структуры полезного ископаемого в масштабе эксплуатационного блока.

При проведении детальных разведочных работ экономически нецелесообразно предельное сгущение разведочной сети на участках, сложенных мелкими рудными скоплениями с весьма изменчивыми контурами и местными осложнениями рудовмещающих структур. Эти участки не определяют основных запасов месторождения и поэтому их более детальное изучение рациональнее оставить на период эксплуатационных работ.

В отличие от предварительной стадии развитие разведочной сети не обязательно должно производиться строго последовательно. Можно одновременно проходить большое количество горных выработок и разведочных скважин.

На стадии детальной разведки уточняются сведения о генетическом типе месторождения и геологических закономерностях, определяющих комплекс поисково-оценочных критериев и признаков. Поэтому, кроме оценки запасов по категориям А, В, и C_1 , в задачу детальной разведки входит и расширение перспектив месторожде-

ния на флангах и глубоких горизонтах путем выявления запасов категории C_2 .

Геолого-геофизическая документация и опробование. На стадии детальной разведки резко возрастают объемы работ по геологической документации и опробованию горных выработок и скважин. Поэтому с самого начала детальной разведки исключительно важное значение приобретают правильная организация и контроль работ по геологической документации и опробованию горно-разведочных выработок и скважин.

При опробовании разведочных горных выработок и скважин механические способы пробоотбора следует проводить одновременно с различными ядерно-физическими методами, накапливая сравнительные данные для оценки их достоверности.

После выяснения деталей строения полезных ископаемых в масштабах забоев горных выработок длины отдельных секций или интервалов проб могут быть увеличены до 1—2 м и более, с учетом предполагаемых кондиций к оконтуриванию запасов (рабочей мощности участков пустых пород). Для суждения о характере изменчивости содержаний при шаге опробования порядка 2—2,5 м целесообразно отбирать борозды по обеим стенкам горных выработок. Необходимо также своевременно выполнять все необходимые операции по контролю процессов пробоотбора, обработки и анализов проб.

При вскрытии ранее пробуренных разведочных скважин горно-разведочными выработками их координаты должны быть обязательно установлены маркшейдерским способом, а участки пересечений полезных ископаемых скважинами должны быть переопробованы. Сопоставления результатов инклинометрии, фактических координат скважин, результатов опробования керна и контрольных проб позволяют судить о фактических погрешностях инклинометрических замеров и опробования керна скважин.

Для изучения технологических свойств полезного ископаемого проводится специальное технологическое картирование и отбираются лабораторные, полупромышленные и промышленные технологические пробы.

Технологическое картирование участков проводится путем систематического отбора большого числа групповых проб, равномерно размещенных по всему изучаемому объему недр, с последующим их испытанием в малогабаритных технологических лабораториях. Массовая информация о пространственной изменчивости важнейших технологических показателей полезного ископаемого позволяет геометризовать эти свойства и использовать данные технологического картирования для выбора мест отбора технологических проб. В начале детальной разведки отбираются пробы для лабораторных испытаний, а к концу разведки — для полупромышленных и промышленных испытаний. Выбор мест отбора технологических проб производится на основе детального анализа геологоразведочных данных с тем, чтобы обеспечить максимальную

представительность каждой технологической пробы относительно запасов полезного ископаемого каждого типа или сорта.

Одновременно с проходкой разведочных выработок и скважин в процессе детальной разведки изучаются природные факторы, определяющие условия проведения горноэксплуатационных работ, применительно к каждой продуктивной залежи, а выборочно — применительно к наиболее типичным эксплуатационным участкам и очистным блокам. При необходимости производятся специальные гидрогеологические и инженерно-геологические работы для расчета водопритоков в горные выработки, оценки инженерно-геологических условий эксплуатации по всем участкам месторождения, выявления и оценки источников питьевого и технического водоснабжения горного предприятия и жилого поселка, газового и термального режима горных выработок. В течение всего срока детальной разведки проводятся систематически режимные наблюдения поверхностных и подземных вод, опытные откачки подземных вод в узлах гидрогеологических скважин, испытания инженерно-геологических и физико-механических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород.

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. По результатам детальной разведки составляется сводный отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого. Главное содержание отчета по результатам детальных разведочных работ составляют сводные графические документы

— геологические карты рудного поля и месторождения в масштабах соответственно 1 : 25 000 — 1 : 10 000 и 1 : 5000 — 1 : 500 с разрезами к ним;

— геологические планы всех разведанных горизонтов, поперечные и продольные геологические разрезы в масштабах 1 : 2000 — 1 : 200;

— планы или разрезы опробования с контурами продуктивных залежей в масштабах 1 : 500 — 1 : 200;

— проекции продуктивных залежей на вертикальные или горизонтальные плоскости с блокировкой запасов полезного ископаемого;

— графические материалы, иллюстрирующие характер связей полезных ископаемых с элементами геологического строения или закономерности пространственного размещения различных свойств полезного ископаемого;

— блок-диаграммы и объемно-макетные модели месторождения или его участков.

Методика подсчета запасов. Подсчет запасов по результатам детальной разведки производится на основании кондиций, разработанных для данного месторождения с учетом результатов детальных разведочных работ. Кондиции к подсчету запасов рассчитываются в конце периода детальной разведки, когда основные геологические особенности и главные геологоразведочные параметры продуктивных залежей выяснены уже с достаточной достоверностью и полнотой. Для определения масштаба месторождения

и годовой производительности будущего горного предприятия при расчете кондиций учитываются только разведанные запасы категорий $A + B + C_1$, а предварительно оцененные запасы категории C_2 принимаются во внимание только при оценке особо сложных месторождений. К началу подсчета запасов кондиции должны быть согласованы с заинтересованными промышленными организациями, рассмотрены и утверждены в ГКЗ СССР.

Сравнительно густая сеть и количество разведочных пересечений, приходящиеся на каждый подсчетный блок, позволяют оконтуривать продуктивные залежи полезных ископаемых и выделять внутри них отдельные подсчетные блоки. При проведении контуров, разделяющих подсчетные блоки, учитываются требования к их технологической и геологической однородности, а также установленные кондициями предельные размеры подсчетных блоков.

Основная часть разведанных запасов подсчитывается по результатам детальных разведочных работ по категории C_1 . Запасы более высоких категорий на месторождениях первой и второй групп подсчитываются в пределах детализационных участков, которые должны играть роль эталонных и характеризовать горно-геологические условия, типичные для основной части разведанных запасов. На месторождениях третьей группы запасы детализационных участков оцениваются не выше категории C_1 . Использование коэффициента рудоносности при подсчете запасов продуктивных залежей допускается лишь для категории C_1 и как исключение, для категории B при значении этого коэффициента не ниже 0,85—0,9.

Отчеты по результатам детальных разведочных работ с подсчетом разведанных запасов месторождения рассматриваются и утверждаются в ГКЗ СССР. Без утверждения запасов в ГКЗ СССР финансирование проектных работ и выделение капиталовложений на строительство горнорудных предприятий не производится.

Оценка экономической эффективности промышленного использования месторождения. Детальной разведкой обеспечивается полная оценка экономической эффективности использования месторождения в народном хозяйстве, как одного из поставщиков данного вида минерального сырья. По результатам детальной разведки рассчитываются все исходные данные для составления проекта строительства горного предприятия, т. е. обеспечивается проектная геолого-экономическая оценка месторождения. Природная ценность месторождения характеризуется не только общими запасами и средними качественными оценками полезного ископаемого, но также разведанными запасами, средними содержаниями полезных компонентов, технологическими свойствами минерального сырья и горно-геологическими условиями эксплуатации месторождения по отдельным продуктивным залежам, участкам и подсчетным блокам.

Эффективность эксплуатации месторождения оценивается по годовой мощности горного предприятия, выпуску товарной продук-

ции в натуральном и денежном выражениях, себестоимости продукции, рентабельности эксплуатации и уровню рентабельности в процентах к основным фондам не только для месторождения в целом, но и по отдельным его участкам, продуктивным залежам, горизонтам, блокам, различным технологическим типам и сортам полезного ископаемого. Себестоимость продукции, рентабельность и уровень рентабельности оцениваются суммарно и раздельно по добыче полезного ископаемого и по каждому последующему переделу. Для оценки эффективности капиталовложений в строительство горного предприятия определяются: капитальные затраты на строительство промышленного комплекса в целом и по отдельным цехам, удельные капитальные затраты, сроки окупаемости капитальных вложений и уровень рентабельности на вложенные средства в целом по всему промышленному комплексу и раздельно по добыче полезного ископаемого и последующим переделам

Глава XIII

Разведочные работы в условиях действующего горного предприятия

После передачи месторождения в промышленное освоение перед геологами горного предприятия возникает необходимость уточнения сведений о разведанных запасах, выявления дополнительных минерально-сырьевых ресурсов, улучшения и совершенствования технологии разработки месторождения и переработки минерального сырья. Решение этих задач входит в обязанности рудничной геологической службы, которая организуется на горном предприятии с первых дней его существования и функционирует на протяжении всего срока эксплуатационных работ.

Перечисленные задачи рудничной геологической службы объединяются в три группы:

— уточнение сведений о разведанных запасах по мере их вскрытия, подготовки и отработки;

— выявление и оценка новых запасов полезного ископаемого в районе горного отвода для расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия и продления срока его существования;

— детализация сведений о геологическом строении месторождения и составе полезного ископаемого для контроля за качеством и полнотой отработки запасов и для оказания помощи горному предприятию по совершенствованию технологии разработки месторождения и переработки руд.

Для решения задач первой группы на месторождении проводится эксплуатационная разведка. Для выявления новых запасов в районе горного отвода проводятся специальные поисково-разведочные работы. Решение задач третьей группы входит в повседневные обязанности рудничной геологической службы.

Перечисленные виды работ проводятся одновременно, как правило, на различных участках месторождения. Все они тесно взаимосвязаны и в совокупности составляют содержание работ по геологическому обслуживанию действующего предприятия.

§ 1. Эксплуатационная разведка

Целью эксплуатационной разведки является уточнение сведений о разведанных запасах для рационального планирования, проектирования и своевременного обеспечения фронта горнокапитальных, горноподготовительных, нарезных и очистных работ. По целевому назначению эксплуатационная разведка разделяется на опережающую и сопровождающую добычу полезного ископаемого [50].

Опережающая эксплуатационная разведка проводится одновременно с горно-капитальными, горноподготовительными и нарезными работами для уточнения сведений о запасах по вскрываемым и подготавливаемым эксплуатационным участкам. Ее цель — определение запасов полезного ископаемого и полезных компонентов, среднего качества, состава и условий пространственного размещения полезного ископаемого в пределах каждого эксплуатационного участка и подготавливаемого блока. Данные опережающей эксплуатационной разведки используются для текущего (месячного, квартального, годового) производственного планирования деятельности горного предприятия.

Сопровождающая эксплуатационная разведка проводится одновременно с очистными работами для уточнения запасов полезного ископаемого и полезных компонентов, особенностей их пространственного размещения и среднего качества полезного ископаемого в пределах каждого обрабатываемого блока. В процессе сопровождающей разведки уточняются контуры промышленно-ценных скоплений полезного ископаемого, безрудных и некондиционных участков, детали пространственного размещения скоплений различных технологических сортов. Результаты сопровождающей эксплуатационной разведки используются для оперативного (сменного, суточного и декадного) производственного планирования горно-добычных работ.

В задачу обоих видов эксплуатационной разведки входит:

— систематическое изучение вещественного состава, текстурно-структурных особенностей и технологических свойств полезных ископаемых;

— уточнение их физико-механических свойств и свойств вмещающих пород, горно-технических и инженерно-геологических условий разработки конкретных участков или блоков;

— выявление ранее неизвестных скоплений полезного ископаемого (апофиз, параллельных линз, гнезд и др.) в околорудных пространствах;

— оперативный подсчет запасов по отдельным эксплуатационным участкам и блокам, текущий учет их движения по мере до-разведки отработки и погашения отдельных блоков.

По сравнению со всеми предшествующими стадиями разведочных работ, эксплуатационная разведка отличается специфическими особенностями, которые определяются ее целевым назначением:

— эксплуатационная разведка производится на протяжении всего периода деятельности горного предприятия, опережая добычу и сопровождая очистные работы в эксплуатационных блоках;

— выбор систем эксплуатационной разведки и ее технических средств определяется способом вскрытия и принятой системой разработки, а густота разведочной сети зависит не только от геологических факторов, но и от технических условий системы отработки, размеров эксплуатационных блоков и требований в отношении селективности, потерь и разубоживания полезного ископаемого;

— в качестве разведочных пересечений широко используются пройденные горно-подготовительные, нарезные и очистные выработки, минные скважины и взрывные шпурсы. Специальные разведочные пересечения (скважины, шпурсы и значительно реже, горно-разведочные выработки) проходятся в минимально необходимых объемах, а их расположение зависит от расположения эксплуатационных горных выработок;

— результаты опробования используются не только для оконтуривания скоплений полезных ископаемых и оценки средних содержаний полезных компонентов, но и для контроля за полнотой и качеством отработки;

— возникает необходимость текущего (оперативного) учета движения запасов.

Основные факторы, определяющие выбор технических средств. Выбор технических средств эксплуатационной разведки предопределяется способом вскрытия и принятой системой разработки месторождения.

Опережающая эксплуатационная разведка проводится колонковыми или ударно-канатными буровыми скважинами из карьеров, скважинами и шпурами из подземных горнокапитальных, горно-подготовительных и нарезных выработок. Значительно реже в условиях эксплуатационной разведки проходятся специальные разведочные горные выработки.

Основными техническими средствами эксплуатационной разведки, сопровождающей подземную разработку месторождений, служат минные скважины, взрывные шпурсы, а при возможности доступа в очистные пространства и сами очистные выработки.

Определение и планирование объемов эксплуатационных геологоразведочных работ производится в отличие от предыдущих стадий не по всему объекту, а по отдельным его участкам и увязывается с перспективными, основными и текущими производственными планами горнодобывающего предприятия. Проекты эксплуатационной разведки составляются обычно на один год, в соответствии с производственным планом развития горно-капитальных, горноподготовительных, нарезных и очистных работ.

При оперативной оценке состояния минерально-сырьевой базы действующего предприятия кроме степени разведанности запасов

в недрах учитывается также степень их подготовленности к отработке. С этой целью запасы разделяются на четыре группы:

— вскрытые запасы, расположенные выше горизонтов горно-капитальных выработок (капитальных штолен, квершлаггов, штреков и т. д.), а при открытой отработке — в уступах карьера с обнаженной верхней площадкой, выше отметки выездной траншеи;

— подготовленные запасы, расположенные в блоках или участках, в которых пройдены все горноподготовительные выработки, разделяющие этаж на эксплуатационные блоки или участки, а при открытой отработке — в уступах карьера с обнаженными верхними и боковыми площадками, в которых пройдены резервные траншеи и осушительные выработки;

— запасы, готовые к выемке, заключенные в эксплуатационных блоках, в которых пройдены все нарезные выработки;

— запасы в охранных целиках, подлежащие самостоятельному учету и подсчету.

Оптимальные соотношения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов неодинаковы для месторождений различных по сложности геологического строения. Они зависят от вида минерального сырья, производительности и темпов горно-добычных работ.

Последовательность развития и густота разведочной сети эксплуатационной разведки определяется способами вскрытия, системами разработки и сложностью геологического строения месторождений.

При открытой разработке месторождений главная роль принадлежит сопровождающей эксплуатационной разведке, а опережающая разведка имеет подчиненное значение, особенно если внешние контуры запасов, определяющие положение бортов карьера, выявлены с достаточной детальностью. Скважины опережающей разведки бурятся, как правило, по редкой сети. При проведении очистных работ сеть наблюдений сгущается до предельной плотности. При этом используются все буровзрывные скважины.

Геологическая документация горных выработок и скважин сопровождается минералого-геохимическими исследованиями, каротажом разведочных скважин, комплексными геофизическими и геохимическими наблюдениями.

Для упорядоченного хранения первичных геологических документов, оперативного подбора, группировки и сортировки задокументированных разведочных пересечений создаются специальные картотеки. Собранная геологическая, геофизическая, геохимическая и другая информация кодируется и выносится на перфокарты или записывается на магнитные ленты.

Опробование горных выработок и скважин приобретает в условиях эксплуатационной разведки массовый характер, а количество отбираемых проб увеличивается по сравнению с детальной разведкой в десятки и сотни раз. Расширяется и круг задач, решаемых с помощью опробования разведочных и эксплуатационных выработок. Кроме определения средних содержаний полезных компо-

нентов и оконтуривания промышленно-ценных скоплений, в задачи опробования входят сбор исходных данных для суждения о полноте отработки недр, оценки вероятных потерь и степени разубоживания полезного ископаемого при эксплуатации

Массовый характер опробования горных выработок и скважин предопределяет выбор высокопроизводительных способов пробоотбора, обладающих низкой себестоимостью. В условиях эксплуатационной разведки шире, чем на допроектных стадиях, применяется шпуровое опробование, а бороздовый способ пробоотбора с успехом заменяется пленочным. Особенно широкие возможности открываются для применения ядерно-физических методов опробования в подземных горных выработках и скважинах, а также при оценке содержания полезных компонентов в вагонетках, ковшах экскаваторов, автомашинах и других емкостях. Пониженная точность результатов перечисленных методов компенсируется резким увеличением общего числа замеров, что при отсутствии систематических погрешностей полностью обеспечивает запросы производства.

В процессе эксплуатационной разведки продолжаются работы по дальнейшему изучению и детализации технологических свойств полезного ископаемого, горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождения.

Задачи технологических исследований сводятся к проверке и совершенствованию схем переработки применительно к каждому технологическому типу и сорту полезного ископаемого, а также к уточнению их технологических свойств в пределах каждого эксплуатационного участка и блока.

Главной задачей гидрогеологических исследований является оценка обводненности разрабатываемых эксплуатационных участков и блоков, условий поступлений вод в подземные горные выработки или в карьер и определение их вероятного количества. Для этого производятся наблюдения за водопритоками, степенью водопроницаемости пород, уровнями вод в скважинах и водоносными структурами, которые вскрываются разведочными и горно-эксплуатационными выработками. При неблагоприятных инженерно-геологических условиях многолетней мерзлоте, карсте, оползнях или пльвунах, повышенной нефте- или газоносности — проводятся специальные исследования для изучения этих факторов и обоснования рекомендаций по борьбе с ними.

Горно-технические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород — буримость, крепость, взрываемость и др. — определяются по отдельным блокам экспериментально — по хронометражу, а их гранулометрический состав — путем лабораторных исследований образцов. Устойчивость пород устанавливается в отдельных блоках непосредственными наблюдениями в горных выработках.

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. Предельно густая сеть наблюдений позволяет создавать весьма детальные геологические модели разрабатываемых месторождений, которые по своей достоверности могут практически приниматься за «истинные» и служить эталонами для сравнитель-

ной оценки степени разведанности запасов на более ранних стадиях. Важнейшими графическими моделями отработанных участков месторождений являются их сводные планы, разрезы и проекции залежей полезных ископаемых на вертикальные или горизонтальные плоскости.

Колоссальная исходная информация о свойствах и важнейших геологоразведочных параметрах полезного ископаемого, наблюдаемая по предельно густой разведочной сети, создает исключительно благоприятные условия для широкого применения методов геометризации недр и геолого-математического моделирования. Для минимизации дисперсий распространения важнейших геологоразведочных параметров при расчетах оценок среднеблочных содержаний полезных компонентов могут использоваться методы геостатистики, дискретного и непрерывного крайгинга.

Главная особенность подсчета и учета запасов в условиях эксплуатационной разведки заключается в том, что запасы полезного ископаемого и полезных компонентов в недрах непрерывно изменяются. На эксплуатационных участках и в отдельных разрабатываемых блоках они уменьшаются вследствие добычи и потерь и в конечном итоге погашаются. Во вскрываемых, подготавливаемых и подготовленных к добыче блоках ранее разведанные запасы доразведуются, а их пространственное положение, условия залегания и качество уточняются, в связи с чем возможно как увеличение, так и уменьшение запасов по отдельным участкам и блокам. В пределах разрабатываемых участков разведочными работами, как правило, выявляются новые скопления полезного ископаемого в виде апофиз, параллельных или слепых залежей, что приводит к увеличению общих запасов эксплуатационного участка. Для того чтобы постоянно иметь отчетливое представление о состоянии минерально-сырьевой базы эксплуатируемого участка действующего предприятия, по результатам эксплуатационной разведки ежегодно составляется полный баланс запасов по состоянию на 1 января очередного года. В балансе отражаются изменения цифр запасов, их качественного состава, степени разведанности и подготовленности к отработке. Поскольку баланс запасов отражает их состояние только на установленный момент времени и непрерывно изменяется в течение года, перевод ранее разведанных запасов в более высокие категории и погашение отработанных запасов производятся геолого-маркшейдерской службой горного предприятия в оперативном порядке. В этих условиях оценка степени разведанности запасов по категориям А, В и С₁ становится второстепенной задачей по сравнению с их оценкой по степени подготовленности к выемке.

При подсчете запасов на стадии эксплуатационной разведки производится их сравнение с ранее подсчитанными запасами. Полученные данные систематически учитываются, анализируются причины расхождений, а выводы используются для совершенствования методики дальнейших геологоразведочных работ. Результаты подсчета запасов сопровождающей эксплуатационной разведки исполь-

зуются также для оценки фактических потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче.

Оценка экономической эффективности промышленного использования запасов производится в процессе эксплуатационной разведки в оперативном порядке. Экономическая оценка по результатам опережающей эксплуатационной разведки проводится по отдельным горизонтам, участкам и блокам месторождения, подготавливаемым к эксплуатации на ближайшие один-два года. Она должна выявить те реальные результаты, которые могут быть получены при эксплуатации подготавливаемых участков месторождения. Данные этой оценки принимаются в основу оптимального текущего планирования производственной деятельности предприятия на предстоящий год с использованием всех оценочных показателей. Особую важность приобретает правильное определение качества минерального сырья, и в частности, содержания основных полезных компонентов в добытых рудах, которые оказывают непосредственное влияние на выпуск товарной продукции и ее себестоимость. Для некоторых видов минерального сырья важно содержание вредных примесей, осложняющих процесс переработки полезного ископаемого.

Результаты опережающей эксплуатационной разведки оказывают влияние и на основные показатели эффективности капитальных вложений, в частности на величину удельных капитальных затрат и на уровень рентабельности на вложенные средства. Путем уточнения данных планируемого года вносятся коррективы в общий срок окупаемости капитальных вложений.

Экономическая оценка результатов сопровождающей эксплуатационной разведки проводится только по отработанным блокам. Ее данные используются для оперативного декадного, суточного и сменного планирования производственной деятельности рудника. При прочих равных условиях особое внимание уделяется количеству запасов полезного ископаемого в блоке, средним содержаниям полезных компонентов, качественной характеристике руд и горно-геологическим условиям их разработки.

§ 2. Разведка в пределах горного отвода

Одновременно с эксплуатационной разведкой в пределах горного отвода и на его периферии проводятся поисково-разведочные работы для выявления новых участков и месторождений полезного ископаемого. Они выполняются геологической службой горного предприятия или геологоразведочными партиями по договоренности с промышленными организациями. В соответствии с действующими методическими указаниями эти работы относятся к особой стадии*. Целью этих работ является расширение перспектив место-

* Название стадии «Разведка в пределах горного отвода» не отражает ее сущности, так как работы проводятся не только в пределах, но и по периферии горного отвода, включают в себя не только разведку, но и поиски новых объектов и представляют собой не стадию, а разновидность геологоразведочных работ, проводимых в условиях действующих горных предприятий одновременно с эксплуатационной разведкой.

рождения путем выявления дополнительных минеральных ресурсов в непосредственной близости от эксплуатируемых участков. Расширение минерально-сырьевой базы действующего предприятия способствует продлению срока его существования, повышению эффективности эксплуатации недр и эффективности капитальных затрат, вложенных в промышленный комплекс. Целесообразность проведения этих работ обусловлена тем, что по мере расширения и углубления добычных работ уточняются представления о геологических закономерностях локализации полезного ископаемого, совершенствуются прогнозы и повышается эффективность поисковых работ, а также возрастают технические возможности выявления и вскрытия «слепых» продуктивных залежей и зон на ранее труднодоступных глубоких горизонтах.

По детальности проведения геологоразведочные работы в пределах горного отвода могут соответствовать поисковым работам, предварительной или детальной разведке. От геологоразведочных работ предпроектных стадий они отличаются:

— непрерывностью поисково-разведочного процесса в связи с нецелесообразностью выделения отдельных разведочных стадий в условиях действующего горного предприятия;

— зависимостью срока передачи разведываемого объекта в промышленное освоение от сочетания ряда горно-геологических и технологических условий.

Близость действующего горного предприятия часто оказывает заметное влияние на выбор технических средств разведки в пределах горного отвода. При проектировании и выполнении этих работ, шире чем на допроектных стадиях разведки, используются подземные горные выработки и буровые скважины из них, особенно при разведках на глубоких горизонтах и флангах месторождения. При обосновании густоты разведочной сети, способов и параметров пробоотбора, методики геологической документации разведочных пересечений, рационального комплекса геофизических и геохимических работ, кондиций к подсчету запасов, методики оконтуривания и подсчета запасов широко используются результаты детального геологического изучения и геолого-математического моделирования важнейших свойств разрабатываемого месторождения, которые в подавляющем большинстве случаев могут быть приняты за эталонные.

Основные отличия разведки в пределах горного отвода заключаются в особенностях геолого-экономической оценки выявленных объектов, содержание которой заметно различается в зависимости от результатов геологоразведочных работ.

Если разведкой выявляются дополнительные запасы полезного ископаемого в таких количествах, которые существенно не влияют на величину годовой производительности предприятия, то они рассматриваются как его дополнительные минеральные ресурсы. Подсчет запасов проводится по действующим кондициям в оперативном порядке, а вновь разведанные запасы вовлекаются в эксплуатацию по мере производственной необходимости. Задача экономи-

ческой оценки сводится к оперативному учету влияния вновь разведанных запасов полезного ископаемого на промышленную значимость месторождения.

При весьма благоприятных результатах разведки, когда в пределах горного отвода, вблизи обрабатываемого месторождения, на его флангах или на глубоких горизонтах выявляются значительные запасы полезного ископаемого, превышающие ранее утвержденные запасы более чем на 50%, производится полный пересчет запасов и переутверждение их в ГКЗ СССР. В таких случаях ставится задача по переоценке народнохозяйственной значимости месторождения и обоснованию целесообразности увеличения производственной мощности горного предприятия.

В исключительно благоприятных условиях в результате разведки в пределах или на периферии горного отвода может быть открыто новое месторождение со столь крупными или высоко качественными запасами полезного ископаемого и полезных компонентов, что потребуются полная переоценка масштаба горного предприятия и строительство нового, более мощного промышленного комплекса. Тогда разведка в пределах горного отвода приобретает самостоятельное значение как разведка нового промышленно-ценного объекта. По целям, задачам и принципам геолого-экономической оценки такая разведка не отличается от предпроектной, поскольку появляется необходимость ее разделения на несколько последовательных стадий с геолого-экономической оценкой результатов разведочных работ по каждой из них. По результатам первой (предварительной) стадии оцениваются общие масштабы и среднее качество запасов и составляется ТЭД, а по результатам второй (детальной) стадии уточняются все данные, необходимые для составления проекта отработки месторождения и строительства нового промышленного комплекса. Экономическая оценка такого месторождения проводится при составлении ТЭДа, при разработке условий к генеральному подсчету запасов и в процессе составления проекта строительства нового промышленного комплекса. При этом учитывается фактор времени и используются все оценочные показатели.

Глава XIV

Разведка месторождений различных морфогенетических типов

Еще в 1940 г. В. М. Крейтером было выделено пять рудных типов месторождений, различающихся по формам рудных тел и требующих различного методического подхода к их разведке. Морфогенетический признак группировки месторождений полезных ископаемых для разведочных целей сохраняет свое значение и в настоящее время. В соответствии с этим признаком месторождения полезных ископаемых разделяются на:

- пластовые и пластоподобные,
- плащеподобные и россыпные,
- жильные и жилообразные,
- трубообразные;
- штокверки и штокверкоподобные.

Между выделенными морфогенетическими типами существуют переходные типы, а в пределах конкретных месторождений часто встречаются рудные тела нескольких морфогенетических типов

§ 1. Разведка пластообразных месторождений

Пластообразные месторождения разделяются на сингенетические — пластовые и на эпигенетические — пластоподобные месторождения

В пластовых месторождениях залежи полезных ископаемых занимают самостоятельное стратиграфическое положение в геологическом разрезе, обладают практически сплошным строением и охватывают всю мощность минерализованного пласта. К их числу относятся осадочные месторождения железа, марганца, бокситов геосинклинального типа, углей, горючих сланцев, фосфоритов, минеральных солей, гипса, ангидрита, известняков, доломитов и ряда других полезных ископаемых. По размерам и степени выдержанности среди них выделяются устойчивые пластовые и менее устойчивые пластово-линзовидные залежи.

Пластоподобные месторождения могут иметь магматическое, контактово-метасоматическое, гидротермальное или инфильтрационное происхождение. Псевдопластовые залежи апатитов, лопариносных луавритов и малингитов и сульфидных медно-никелевых руд связаны со стратифицированными щелочными и основными интрузивами платформенного типа. Пластоподобные железорудные, борсодержащие, медные, полиметаллические и вольфрам-молибденовые залежи скарнового типа располагаются в контактах силикатных и карбонатных пород, а стратифицированные залежи медных, свинцово-цинковых, реже арсенопиритовых и сидеритовых руд — в пластах пород, благоприятных по литологическому составу. С пластами песчаников связаны инфильтрационные залежи ураново-ванадиевых и медных руд, а с пластами карбонатных пород — месторождения серы.

Как пластовые, так и пластоподобные месторождения могут залегать горизонтально, наклонно или образовывать складки в зависимости от дислоцированности вмещающих пород.

Всем пластообразным месторождениям свойственны некоторые общие черты, определяющие методические особенности их разведки:

— залежи полезных ископаемых отличаются устойчивой формой, большими размерами, выдержанностью по падению и простиранию и мощностями на два-три порядка меньше двух других их размеров;

— положение залежей определяется элементами слоистости пород или элементами залегания контактовых поверхностей между

породами различного состава, что обеспечивает выдержанность рудоносных геологических структур по площади;

— залежи обладают четкими природными границами, простым или слабопрерывистым внутренним строением;

— в геологических разрезах обычно выделяются «продуктивные толщи», охватывающие ограниченные по мощности пачки литологически благоприятных пород, в пределах которых локализуются все залежи полезного ископаемого.

Разведка пластообразных месторождений осуществляется преимущественно буровыми скважинами. Этому способствуют их крупные размеры, устойчивые формы, четкий геологический контроль элементами слоистости вмещающих пород или выдержанными контактовыми поверхностями.

Конкретные размеры ячеек разведочных сетей изменяются в широких пределах для разных природных типов пластообразных месторождений (табл. 13). Расстояния между смежными разведочными пересечениями принимаются на один-два порядка больше величины средней мощности залежи и связаны с ней обратной пропорциональной зависимостью.

Таблица 13

Ориентировочные расстояния между смежными разведочными пересечениями пластообразных залежей (категория С₁)

Типы залежей	Средняя мощность	Расстояния между разведочными пересечениями, м
I Пластовые	Более 100 м	800—2000
	Десятки метров	400—800
II. Псевдопластовые в магматических породах	Метры	200—400
	Десятки метров	300—600
	Метры	200—300
III. Пластоподобные эпигенетические	Десятки метров	100—200
	Метры	40—100

Постепенное уменьшение расстояний между смежными пересечениями от первого к третьему типу залежей связано с уменьшением их размеров, усложнением форм и строения эпигенетических залежей. Поэтому при разведке наиболее сложнопостроенных пластоподобных залежей в сочетании с буровыми скважинами используются также и подземные горные выработки.

На ранних стадиях разведочных работ особенно важно выявить основные черты геологического строения месторождения: складчатые структуры, разрывную тектонику и литолого-фациальные особенности пород, которыми определяются закономерности пространственного размещения полезных ископаемых. Это обеспечивается проведением детальных геологических съемок на инструментальной топооснове и широким использованием методов структурной геофизики. Особое внимание уделяется изучению стратиграфии, фациальному и литологическому составу вмещающих

пород, выделению маркирующих горизонтов, ритмов и циклов процесса осадконакопления.

Первые скважины, вскрывающие залежи полезных ископаемых, бурятся на полную мощность продуктивной толщины, поскольку в ее пределах вероятно выявление новых продуктивных залежей. После оценки продуктивности отдельных горизонтов толщи дальнейшее сгущение сети скважин целесообразно только в пределах каждой залежи. При сгущении разведочной сети для увеличения производительности и снижения себестоимости буровых работ возможно перебуривание вышележащих пород без отбора керна, но с обязательным комплексным каротажем скважин.

Опробование колонковых скважин производится по керну (при опробовании канав и шурфов отбираются бороздовые пробы) с разделением их на секции, длины которых определяются мощностями литологических разновидностей минерализованных пород. Значительно реже при одинаковом составе вмещающих пород и больших мощностей залежей отбираются интервальные пробы длиной от 1—2 до 5 м. Для геологической документации скважин широко используются методы комплексного каротажа.

Оконтуривание по разведочным пересечениям производится по данным геологической документации и каротажа скважин, поскольку залежи обладают, как правило, четкими природными границами. Кроме минимального промышленного содержания ведущими кондиционными показателями являются рабочая мощность и максимально допустимая мощность пустых прослоев.

Запасы подсчитываются способами разрезов (при больших мощностях и сложных формах залежей) или блоков (при небольших мощностях и простых формах залежей). При оценке средних значений геологоразведочных параметров задача сводится к двумерной модели (в продольной плоскости залежи). Поэтому при условии геометрически правильной разведочной сети для оценки средних содержаний или линейных запасов по элементарным блокам может использоваться методика дискретного крайинга.

§ 2. Разведка плащеподобных и россыпных месторождений

Плащеподобные месторождения связаны с площадными и линейными корами выветривания материнских пород. Среди них наиболее широким развитием пользуются месторождения железа, бокситов, каолинов, марганца и силикатного никеля. Снизу залежи ограничиваются поверхностями невыветрелых материнских пород, а сверху — перекрываются чехлом современных осадков или более древних осадочных отложений. Верхние контакты залежей выдержаны лучше, чем нижние. При сочетании площадных и линейных кор выветривания собственно плащеподобные части залежей осложняются снизу уходящими на глубину клино- и пластообразными отрогками.

Невыдержанность нижних контактов и изменчивость их контуров в плане определяют более сложные формы плащеподобных за-

лежей по сравнению с залежами пластового и пластоподобного типов. Строение большинства плащеподобных залежей простое, но многие из них обнаруживают признаки отчетливой вертикальной зональности, а месторождения силикатных никелевых руд часто отличаются заметной прерывистостью и извилистыми очертаниями в плане.

Россыпи относятся к типичным экзогенным месторождениям. По условиям образования выделяются элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские россыпи. Главное практическое значение имеют аллювиальные и прибрежно-морские россыпи ильменита, циркона, монацита, золота, касситерита и алмазов. Современные россыпи представляют собой поверхностные образования, ограниченные снизу плотиком (коренными породами), а сверху — маломощным чехлом рыхлых осадков. Часто верхняя граница россыпей непосредственно обнажается на дневной поверхности. Погребенные россыпи перекрываются мощным чехлом четвертичных или более древних отложений. Промышленно-ценную часть россыпи принято называть «песками», а перекрывающие их практически пустые осадки — «торфами».

Резкие природные границы россыпей проявлены только в их нижних частях, а ширина и мощность россыпи устанавливаются условно, по заданному содержанию. Поэтому представления о морфологии россыпи зависят не только от их природных свойств, но также от кондиций, принятых за основу при их оконтуривании.

Подавляющее большинство россыпей характеризуется в плане вытянутыми лентообразными формами, а их строение отличается сложностью с проявлениями неоднородности на нескольких структурных уровнях. Нередко прослой песков разделяются ложными плотиками (прослоями пустых, как правило, более плотных осадков), а в плане обогащенные участки песков образуют «струи», «кусты» или «гнезда» самых различных размеров и форм. На более высоких структурных уровнях россыпи различаются по гранулометрическому составу полезных минералов.

В практике разведки россыпи разделяются на три группы.

К первой группе относятся очень крупные и хорошо выдержанные россыпи с относительно равномерным размещением полезных минералов, выдержанной мощностью и сравнительно ровным плотиком (прибрежно-морские россыпи титана, ильменита и монацита, крупные долинные россыпи золота и др.).

Ко второй группе относятся крупные, выдержанные по ширине, но не равномерные по содержанию, часто струйчатые россыпи с ложными плотиками и многоярусным расположением песков или выдержанные россыпи средних размеров (пляжевые россыпи монацита, титана, золота, долинные россыпи алмазов, касситерита и др.).

К третьей группе относятся россыпи средних размеров, невыдержанные по ширине и по мощности, с неравномерным размещением полезных минералов и неровным плотиком (крупные аллювиально-делювиальные террасовые, русловые, косовые, мелкие

пляжевые и дельтовые россыпи золота, касситерита, алмазов и др. полезных минералов).

Плащеподобным и россыпным месторождениям свойственны общие черты: практически горизонтальные и приповерхностные условия залегания, зависимость морфологии нижних границ залежей от характера поверхности подстилающих коренных пород и выдержанная верхняя граница залежей.

Разведка плащеподобных и россыпных месторождений проводится с помощью шурфов, буровых скважин или траншей. Шурфы используются в качестве основного технического средства при разведке некоторых россыпей. Для разведки плащеподобных месторождений широко применяются вертикальные колонковые скважины, а для разведки многих россыпей — скважины ударно-вращательного или ударно-захватного бурения. Россыпи, весьма изменчивые по внутреннему строению и содержанию полезных минералов, разведываются с помощью траншей.

Во всех случаях применяются системы вертикальных разведочных разрезов, которые располагаются параллельно, а при разведке аллювиальных россыпей — непараллельно друг другу. Многие плащеподобные месторождения разведываются выработками по прямоугольной сети с соотношениями сторон, равными показателям анизотропии форм залежей. При разведке россыпных месторождений с лентообразными контурами в плане размеры длинных сторон ячеек разведочной сети на порядок больше размеров их коротких сторон.

Размеры ячеек разведочных сетей изменяются в зависимости от типов и геологических особенностей разведываемых месторождений (табл. 14).

При разведке плащеподобных и россыпных месторождений широко используются геофизические методы.

Гравиметрические съемки используются для выявления погребенных форм рельефа коренных пород при разведке россыпей

Таблица 14

Ориентировочные размеры разведочных сетей для оценки запасов пластообразных и россыпных месторождений (категория С₁)

Типы месторождений	Средняя мощность	Показатель анизотропии формы	Размеры сети, м
Плащеподобные			
Железо и каолин	Десятки метров	2—4	От 400×200 до 400×100
Бокситы	Метры	1—2	От 200×100 до 100×50
Силикатный никель	Метры — первые десятки метров	1—2	От 100×50 до 50×25
Россыпные			
Первая группа	Метры	10—20	От 800×80 до 800×20
Вторая группа	»	10—20	От 400×40 до 400×20
Третья группа	»	10—20	От 200×20 до 200(100)×10

Электропрофилированием и ВЭЗ изучают рельеф кровли коренных пород. Сейсмические методы со взрывным или ударным способами возбуждения колебаний обеспечивают хорошие результаты при разведке россыпей при глубоких залеганиях коренных пород (более 15 м). Сейсмоакустические методы широко используются при разведках прибрежно-морских россыпей для изучения разрезом морских осадков и рельефа подстилающих коренных пород.

При разведке плащеподобных месторождений основное внимание обращают на выявление их вертикальной минералогической зональности, характера изменчивости и морфологических особенностей поверхностей лежащих боков залежей. Так, например, в месторождениях силикатных никелевых руд основные концентрации никеля тяготеют к зоне нонтронизированных серпентинитов, подстилающих зону железистых охр, а основные концентрации кобальта — к низам зоны охр и верхней части зоны нонтронитов. В остаточных месторождениях бокситов часто проявляется не только вертикальная, но и горизонтальная зональность, определяющая закономерное увеличение содержания глинозема и уменьшение содержания кремнезема к центральным частям линзоподобных залежей.

Наиболее изменчивым геологоразведочным параметром плащеподобных месторождений являются мощности залежей. В процессе разведочных работ должны быть выявлены морфогенетические особенности почвы залежей и установлены связи рудных выступов или отростков с неровностями палеорельефа, карстовыми полостями или тектоническими зонами, по которым развились линейные коры выветривания. В случаях сложной морфологии нижних контактов залежей оптимальная густота разведочной сети определяется характером их изменчивости, поскольку изменчивость остальных геологоразведочных параметров, в том числе и содержаний полезных компонентов, оказывается несравненно более низкой. По результатам разведки составляются карты подрудного рельефа, определяющего морфологические особенности рудных тел.

Методика разведки, опробования и подсчета запасов россыпей отличается рядом специфических особенностей. В зависимости от глубины залегания песков, физического состояния осадков и сложности строения россыпей применяются различные технические средства их разведки. Слабоводоносные россыпи и россыпи в районах дольготней мерзлоты разведываются шурфами. Многие россыпи разведываются скважинами ударно-вращательного бурения диаметрами от 121 до 219 мм. Для бурения скважин большего диаметра вместо шурфов используется буровая установка УБСР-25, позволяющая бурить скважину медленно-вращательным и ударно-захватным способами до глубины 25 м диаметром 715 мм. Чем крупнее агрегаты и ниже содержания полезных минералов, тем больше должны быть диаметры разведочных скважин. Для получения надежных результатов буровой разведки башмаки обсадных труб должны постоянно находиться ниже долота и желонки, а при бу-

рении в мерзлых или сильноглинистых осадках должна проводиться кавернометрия скважин. Результаты буровой разведки обязательно контролируются горными работами путем проходки шурфов, сопряженных с осями ранее пробуренных скважин.

Весьма изменчивые золотоносные и алмазные россыпи разведываются траншеями, которые проходятся с помощью экскаваторов, малолитражных драг или гидравлическим способом. Глубокими канавами или траншеями рыхлые отложения вскрываются до плотика, вся добытая масса промывается на специальных обогатительных установках, а среднее содержание полезных минералов в песках определяется по фактической добыче.

Опробование россыпей в процессе их разведки проводится с обязательным измерением объемов проб, поскольку концентрация полезных минералов выражается в весовых единицах на 1 м³ песков. Для этого используются специальные мерные сосуды — ендовки, имеющие форму продолговатых ящиков, размером сверху 0,60×0,30 м, внизу 0,50×0,20 м и высотой 0,17 м. Объем ендовки 0,02 м³ песков в разрыхленном состоянии.

Рациональные объемы проб зависят от содержаний и размеров зерен полезных минералов, а также от характера их распределения в песках. Чем ниже содержания полезных минералов, крупнее их зерна и неравномернее распределение песков в опробуемой массе, тем больше должны быть исходные объемы проб. Оптимальные массы проб рассчитываются по формулам типа (3.2).

В практике разведки объемы проб принимаются от 1—3 до 10 ендовок и более. При опробовании контрольных шурфов, а также при разведке алмазных россыпей в пробу отбирается весь материал, вынутый с каждого интервала шурфа. Интервалы опробования шурфов и скважин принимаются: для золотых и платиновых россыпей 0,2 м, для оловянных, вольфрамовых и монацитовых россыпей — 0,5 м; для алмазных, титановых и цирконовых россыпей — 1—2 м.

Обработка проб, в отличие от других месторождений, производится на месте их отбора путем промывки на лотках, бутарах или специальных установках с обязательным контролем полноты извлечения полезных минералов из песков. Наиболее совершенным промывным устройством является механизированная передвижная обогатительная установка ЦНИГРИ ПОУ-4М. Способы опробования траншей зависят от способов их проходки. При проходке траншей гидравлическим способом размываемая масса осадков пропускается через шлюзы, а проходка траншей и промывка песков производится секциями длиной не более 20—40 м. Вскрытые пески полностью промываются с тщательным предварительным замером их объема. В случаях проходки траншей малолитражными драгами объемы проб определяются суточной производительностью драги.

Анализы проб производятся минералогическими или химическими (физическими) методами. Минералогические анализы проб используются при разведках россыпей высокоценных минералов —

алмазов, золота, платиноидов, тантало-ниобатов и др. При разведках ильменитовых, цирконовых, касситеритовых и других россыпей минералогические анализы часто заменяются химическими (или физическими) анализами, которыми определяются валовые содержания полезных элементов.

Отобранные пробы подвергаются испытаниям для установления важнейших технических свойств осадков: гранулометрического состава песков и зерен полезных минералов, валунистости, промывистости, коэффициента разрыхления, льдистости, объемной массы и влажности песков.

Технологические свойства песков устанавливаются в первом приближении при промывке проб на передвижных обогатительных установках и уточняются полупромышленными или промышленными испытаниями.

Оконтуривание и подсчет запасов производится на основании промышленных кондиций. Значения кондиционных показателей зависят от природных свойств россыпи и в значительной степени — от проектируемого способа ее отработки (открытая или подземная, отработка на массу дражными или гидравлическими способами, селективная механизированная или ручная отработка и т. д.).

Оконтуривание в разведочном пересечении проводится по бортовому содержанию с учетом кондиций на рабочую мощность и максимальную мощность пустого прослоя. Оконтуривание россыпи в плоскости разведочного разреза производится с учетом пространственных связей рудных интервалов с элементами литолого-фациального строения продуктивного участка песков и геоморфологического строения долин или морских побережий. Кроме того, учитываются требования технологии разработки россыпи (минимальная и максимальная глубина черпания драги, минимальная ширина дражного прохода, предельная высота надводного борта разреза и др.). Все эти элементы выносятся на поперечные разведочные разрезы и наряду с данными опробования определяют размеры и контуры подсчетных блоков. Увязка данных между смежными разведочными разрезами производится по совокупности литолого-фациальных, геоморфологических и гидродинамических критериев с учетом специальных требований эксплуатации в зависимости от проектируемого способа разработки россыпи.

Подсчет запасов выполняется способом блоков или линейным способом, который представляет собой разновидность способа разрезов [35]. Средние содержания выражаются весом полезного минерала в 1 м³ разрыхленных песков. В значения средних содержаний вносятся поправки за валунистость и льдистость песков. Иногда в значения запасов полезного минерала вносятся поправки за несовершенство буровой техники и за «намыв».

§ 3. Разведка жильных и жиллообразных месторождений

По структурно-морфологическим особенностям рудные тела этих месторождений разделяются на простые жилы, сложные жилы, жилло- и линзоподобные залежи. Простые жилы имеют крупные

размеры (до километра и более по простиранию), выдержанную и часто значительную мощность. Сложные жилы отличаются меньшими размерами, многочисленными разветвлениями по падению и простиранию и невыдержанными мощностями. Жильные месторождения обычно представлены сериями жил, количество которых достигает десятков, а иногда и сотен. Среди многих жил, как правило, выделяются единичные, наиболее крупные рудные тела, запасами которых определяется масштаб и промышленная ценность месторождения.

Жилообразная форма рудных тел типична для самых различных полезных ископаемых. Наиболее важное промышленное значение в настоящее время имеют жильные месторождения золота, олова, вольфрама, кобальта, молибдена, флюорита, барита, витерита и полевого шпата, жильные зоны асбеста и сурьмы, жилло- и линзоподобные месторождения колчеданов, флюорита, талька и хромитовых руд. Наиболее простыми формами, крупными размерами и сравнительно простым строением отличаются жильные месторождения полевых шпатов, барита (витерита) и флюорита. На месторождениях редких и благородных металлов простые и сложные жилы встречаются совместно, образуя взаимопереходы или сопрягаясь друг с другом. Жильными пучками или жильными зонами называются группы жил, сближенных настолько, что они могут разведываться единой системой разведочных выработок и скважин, но каждая из жил должна обрабатываться самостоятельно. Если расстояние между соседними жилами уменьшается настолько, что становится возможной их отработка общим очистным забоем, понятие жильной зоны заменяется понятием минерализованной зоны. Минерализованные зоны характеризуются значительными мощностями, сравнительно простыми формами, но сложным внутренним строением с элементами неоднородности самых различных размеров и форм. Все жильные и жиллообразные месторождения обладают общими морфогенетическими чертами:

— подчеркнуто малой мощностью рудных тел по сравнению с их размерами по простиранию и падению;

— отчетливым трещинным контролем рудоносных образований с изгибами рудных тел по падению и простиранию и со склонением продуктивных участков в плоскостях жил;

— четкими природными границами, но часто сложной формой контактов, наличием апофиз, раздувами и пережимами, расщеплениями и выклиниваниями по простиранию и падению;

— сложным внутренним строением с элементами неоднородности различных масштабов, от концентрационных рудных столбов до отдельных линз, гнезд и более мелких скоплений рудных агрегатов;

— приуроченностью рудных скоплений — столбов, линз, прожилков, гнезд или агрегатов других форм к участкам изгибов и сопряжений директивных структур на различных уровнях строения.

Разведка жил и жиллоподобных залежей производится комбинированными горно-буровыми системами. Соотношения горных и бу-

ровых разведочных выработок зависят от размеров, морфологии, строения и условий залегания рудных тел, а также от целей и задач (стадий) разведочных работ. Роль горных выработок возрастает от ранних к поздним стадиям геологоразведочных работ, а также с увеличением углов падений, уменьшением мощностей и размеров жил, усложнением их морфологии и внутреннего строения. Как правило, буровая разведка должна контролироваться подземными горными работами хотя бы в минимальных объемах,

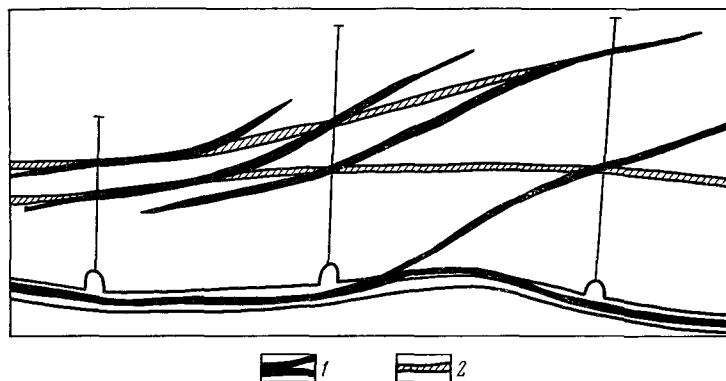


Рис. 71. Неверная взаимоувязка рудных жил по редкой сети наблюдений.

1 — истинное положение рудных жил; 2 — неправильная взаимоувязка рудных пересечений по скважинам

так как вследствие природной сложности рудовмещающих структур всегда остается опасность неправильной взаимной увязки рудных интервалов смежных разведочных скважинах (рис. 71). Чем меньше размеры и мощности рудных жил, сложнее их морфология и строение, тем гуще должна быть сеть наблюдений и больше доля горных разведочных выработок, обеспечивающих выявление важнейших геологических факторов рудоконтроля — трещинных структур различных порядков, участков их изгибов по падению и простиранию, расщеплений и др. Жилы, сопоставимые по мощности с шириной подземных горных выработок, разведываются на поверхности канавами по простиранию, а под землей — системами рудных штреков и восстающих. Такая система разведки обеспечивает сплошное прослеживание жил по простиранию и падению. В случаях, когда мощности жил не вписываются полностью в ширину разведочной выработки, для вскрытия лежащего и висячего боков жилы на поверхности используются поперечные канавы, а под землей — короткие рассечки или шпурсы. Обычно рудные штреки и восстающие проходят по наиболее выдержанным и крупным жилам, определяющим промышленную ценность месторождения. Остальные жилы вскрываются на поверхности магистральными канавами, а на каждом горизонте горных работ — системами квершлагов и скважин подземного бурения.

В комплексе с горными выработками рудные жилы и зоны разведываются скважинами поверхностного или подземного колонкового бурения. При крутых падениях рудных жил поверхностные скважины бурятся наклонно, с таким расчетом, чтобы углы встречи между осями скважин и продольными плоскостями жил были бы не менее 30° . Подземные скважины для вскрытия более глубоких горизонтов приходится бурить из квершлагов, пройденных в висячих боках жил. Для выявления и оценки параллельных жил, подземные скважины бурятся горизонтально (реже веерообразно) из камер, пройденных в штреках каждого горизонта.

Наиболее широким применением буровые работы пользуются на стадии предварительной разведки. Это объясняется не только экономическими соображениями, но и тем, что по сравнению с данными горных работ буровая разведка обеспечивает более равномерное размещение разведочных пересечений по всей площади жилы, что способствует снижению погрешностей экстраполяции и повышению надежности средних оценок важнейших геологоразведочных параметров.

Для выявления возможных новых жил и оценки рудоносности всей жилой зоны в целом, на горизонтах горных работ бурятся подземные горизонтальные скважины. Часто они перемежаются с поисково-разведочными квершлагами, причем на стадии детальной разведки доля последних увеличивается пропорционально суммарной продуктивности жил.

Геометрия разведочной сети зависит от анизотропии форм и внутреннего строения жил. На ранних стадиях анизотропия оценивается по соотношениям размеров жил по падению и простиранию, а на более поздних стадиях — по характеристикам изменчивости линейных запасов по тем же направлениям.

При выборе густоты разведочной сети скважин или расстояний между горизонтами и смежными восстающими ориентируются на полупериоды гармоник, определяющих чередование рудных столбов и разделяющих их пережимов (табл. 15).

Количество разведочных пересечений на подсчетный блок определяется выбранной густотой разведочной сети и размерами подсчетных блоков. Экспериментальными исследованиями сотрудников ВИЭМСа установлено, что для предварительной разведки общее количество кондиционных пересечений по жиле должно быть около 20—30 при условии, что вычисленная погрешность среднего содержания будет меньше разности между ним и минимальным промышленным содержанием для данного месторождения, а погрешность запасов руды — меньше разности между ними и предельными запасами, обеспечивающими возможность проектирования самостоятельного горного предприятия.

Геологическая документация разведочных штреков производится по кровле и по забоям, а документация восстающих — по одной или обеим стенкам. Применение методов фотодокументации горных выработок способствует резкому повышению эффективности геологоразведочных работ. При документации колонковых скважин

Ориентировочные размеры разведочных сетей для жильных и жилообразных месторождений (категория С₁)

Типы месторождений	Средняя мощность жил	Технические средства	Размеры сети, м
Простые жилы барита, полевых шпатов, флюорита и др.	Метры, десятки метров и более	Скважины Штреки, орты (скважины)	От 50×50 до 150×150 От 10 до 20 (на одном горизонте)
Простые жилы редких и благородных металлов	Метры	Скважины Штреки Восстающие	50×50 От 40 до 80 От 40 до 80
Сложные жилы	Доли метра, метры	Штреки Восстающие	От 40 до 60 От 40 до 60
Жило- и линзоподобные залежи	До десяти метров и более	Скважины Штреки Орты (скважины)	От 50×50 до 100×100 От 80 до 120 От 10 до 40

большое внимание уделяется методам комплексного каротажа для уточнения положений контактов жил, оценки рудоносности зальбандов, выявления мелких прожилков и апофиз, которые могут быть пропущены при неполном выходе керна.

Для опробования горных выработок и скважин используются линейные способы отбора проб. Опробуются не только сами жилы, но также их зальбанды. Границы частных проб определяются особенностями геологического строения жил и зальбандов. По жилам пробы отбираются всегда как секционные, а по зальбандам — как секционные или как интервальные. При малых мощностях жил вместо одной короткой секции из забоя отбираются 2—3 секции и более, которые объединяются в одну. Иногда, при очень малых мощностях прожилков отбираются зади́рковые пробы.

Запасы жильных месторождений подсчитываются способом блоков. Оконтуривание по разведочному пересечению (пробе, скважине, шпuru или квершлагy) производится по данным геологической документации, а кондиционность пересечения проверяется по рабочей мощности, предельному линейному запасу и заданному предельному содержанию. При оконтуривании по результатам горных работ (штрекам и восстающим) выделяются кондиционные участки, концентрационные или морфологические рудные столбы, участки пережимов и пустых жил. Все они взаимоувязываются с учетом геологических данных на продольных проекциях жил, а при невозможности их уверенной взаимоувязки для каждого подсчетного блока рассчитываются коэффициенты рудоносности. Если общее количество пересечений мало (менее 25—30), коэффициент рудоносности рассчитывается на группу смежных блоков.

При подсчетах запасов по результатам разведки горными работами, особенно в процессе эксплуатационной разведки жил, существенное уточнение оценок важнейших средних параметров может быть достигнуто с помощью непрерывного крайгинга.

§ 4. Разведка трубообразных месторождений

Трубообразную форму имеют рудные тела алмазных, карбонатитовых, некоторых полиметаллических, молибденовых, оловянных и редкометалльных месторождений магматического, пегматитового и постмагматического происхождения. Они залегают в коренных породах самого различного состава и контролируются трещинными или взрывными структурами. Трубообразные рудные тела большинства месторождений залегают несогласно по отношению к слоистости вмещающих пород. По размерам они разделяются на две группы: крупные одиночные трубы простой формы и мелкие, часто ветвящиеся трубообразные тела.

Крупные трубчатые тела алмазоносных кимберлитов, карбонатитов, некоторых оловянных, молибденовых и полиметаллических месторождений достигают десятков и сотен тысяч квадратных метров в поперечном сечении, отличаются устойчивой формой, выдержанным залеганием и круто уходят на глубину. Мелкие трубообразные тела полиметаллических, свинцово-серебряных и других руд измеряются метрами и десятками квадратных метров в поперечнике, отличаются неустойчивой, иногда кустовой или древовидной формами и ветвятся в направлении снизу — вверх. Часто они залегают в дислоцированных карбонатных породах и контролируются системами взаимопересекающихся тектонических трещин.

Для трубообразных месторождений типичны:

- резко ограниченные размеры в поперечных сечениях, несопоставимые с длинами трубообразных тел;
- условия залегания, которые вместо падения и простирания характеризуются азимутом и углами ныряния (скатывания);
- сложность выявления и геологического картирования рудоконтролирующих структур;
- сравнительно простое, практически сплошное, реже зональное внутреннее строение;
- отчетливые природные границы по внешним контурам трубообразных тел и менее отчетливые концентрические контуры внутренних зон.

Крупные трубчатые тела, достигающие сотен метров в поперечных сечениях, разведываются с поверхности системами канав, шурфов или короткометражных скважин, а на глубину — скважинами колонкового бурения, часто в сочетании с подземными горными выработками на верхних горизонтах. Для оконтуривания их выходов создается изометрическая сеть поверхностных разведочных выработок. Скважины колонкового бурения располагаются в разведочных разрезах, которые совмещаются с продольными осями канав. Скважины бурятся наклонно или веерообразно с таким расчетом, чтобы вскрыть контакты трубообразных залежей на различных глубинах. Часто для выяснения азимутов и углов ныряния (скатывания) трубообразной залежи создается две системы взаимноортогональных разрезов.

Проверка данных буровой разведки осуществляется с помощью подземных горных выработок, которыми вскрывается один, реже два верхних горизонта. На каждом разведочном горизонте проходит система взаимноортогональных или веерообразных горизонтальных выработок.

Мелкие трубообразные тела разведуются почти исключительно с помощью разведочных горных выработок. Горизонты горных выработок развиваются последовательно, сверху вниз из ствола разведочной шахты. На каждом горизонте проводится поисковое бурение с помощью горизонтальных скважин, после чего обнаруженные трубы разведуются системами веерообразных или пересекающихся пересечений.

Высота разведочного горизонта зависит от устойчивости элементов скатывания (ныряния) рудных тел, а густота разведочной сети на горизонте — от размеров их поперечных сечений. Обычно высота горизонта принимается порядка 40—60 м, а расстояния между смежными разведочными пересечениями на горизонте могут изменяться от метров до первых десятков метров.

Оконтуривание залежей производится по данным геолого-геофизической документации, а выделение внутренних зон — по заданным содержаниям и другим кондиционным показателям.

Запасы трубообразных месторождений подсчитываются способом горизонтальных разрезов при разведке горными выработками или способом вертикальных разрезов при разведке их скважинами колонкового бурения.

§ 5. Разведка штокверковых и штокверкоподобных месторождений

Понятие штокверк характеризует не морфологию, а строение рудного тела, представленного густой сетью различно ориентированных рудных прожилков. Такое строение типично для многих вольфрамовых, молибденовых, медных, оловорудных и других залежей, причем прожилковые текстуры часто сопровождаются интенсивной тонкой вкрапленностью рудных минералов.

Под штокверком обычно понимается крупный минерализованный участок недр часто неправильной формы с нечеткими границами, в котором слагающие его породы пронизаны густой сетью различно ориентированных рудных прожилков, сопровождаемых вкрапленностью рудных минералов [36]. Постепенными переходами штокверки связаны с минерализованными зонами дробления, имеющими штокверковое строение, но жилко- или линзообразную форму залежей, а также с массивами и телами вкрапленных руд, различных размеров и форм. От жильных зон или залежей с прерывистым гнездовым строением штокверки отличаются тем, что каждое рудное обособление в отдельности не имеет практической ценности, а интерес представляет только вся рудная масса, заключенная в общем промышленном контуре. Залежи, не полностью отвечающие этому условию (например, штокверки с отчетливо прерывистым строением), часто называются штокверкоподобными.

Штокверки и штокверкоподобные месторождения обладают следующими особенностями:

— размеры залежей велики, но сопоставимы по длине, ширине и глубине, их поперечные сечения измеряются сотнями метров, а объемы могут достигать 1 км³ и даже более;

— четкие геологические границы между промышленно-ценными участками штокверков и вмещающими породами отсутствуют, поэтому их контуры сильно зависят от кондиционных показателей, принятых в основу оконтуривания;

— внутреннее строение штокверков отличается сложностью, проявляется на нескольких структурных уровнях и отличается разнообразием размеров, ориентировки и рудонасыщенности отдельных рудных скоплений;

— средние содержания полезных компонентов относительно невелики; на фоне общей неравномерности содержаний часто проявляется центробежная зональность; обычно преобладают один или два рудообразующих компонента при наличии других сопутствующих металлов.

Основным техническим средством разведки штокверков и штокверкоподобных месторождений служат буровые скважины. Этому способствуют крупные размеры и сопоставимые с ними мощности залежей и открытый способ разработки большинства из них. На ранних стадиях разведки используются скважины колонкового бурения, обеспечивающие полноту изучения геологических условий. На поздних стадиях часто применяются скважины ударно-канатного бурения и большого диаметра, что способствует повышению достоверности опробования. Результаты буровой разведки выборочно проверяются горными выработками, обычно на участках детализации разведочных работ.

До начала разведочных работ на площади месторождения проводятся геологическая съемка и комплекс структурно-геофизических и геохимических работ. Особенно высокую эффективность дают ореольные металлотрические съемки, способствующие выявлению первичных и вторичных ореолов ведущих металлов и их спутников на всей территории месторождения.

Разведочные скважины располагаются на площади месторождения равномерно по квадратной, реже прямоугольной сети. Размеры ячеек разведочной сети обычно соизмеримы с мощностями залежей (табл. 16). При вскрытии месторождений открытым способом особое значение приобретает точность выявления внешнего контура штокверка, определяющего разнос и положение бортов карьера. С учетом крупных масштабов месторождений, погрешности в определении внешних контуров могут привести к тому, что миллионы тонн руды останутся не вынутыми в бортах карьеров или во вскрышу будут вовлечены излишние массы пустых пород. Для уменьшения погрешности оконтуривания на периферии штокверковых залежей сеть разведочных скважин сгущается.

В колонковых скважинах и разведочных горных выработках опробование производится поинтервально. Длина интервалов изме-

Таблица 16

Ориентировочные размеры разведочной сети при разведке штокерков и штокеркоподобных месторождений (категория С₁)

Тип месторождений	Размеры сети, м
Штокерки	От 50×50 до 100×100
Крупные минерализованные зоны	От 40×60 до 80×120
Массивы и тела вкрапленных руд	От 50×50 до 200×200

няется от долей метра до 5 м и более. Опробование короткими интервалами (доли метра) проводится только на участках детализационных работ. Интервальные пробы длиной 1—2 м отбираются на ранних стадиях разведочных работ, когда сведений о строении штокерка еще мало. По мере накопления фактических данных длины интервалов приводятся в соответствие с кондициями на рабочую мощность и максимальную мощность пустых участков включаемых в промышленный контур. Опробование скважин ударно-канатного бурения производится раздельно, с каждого пробуренного погонного метра.

Для оконтуривания залежей используются кондиции на минимальное промышленное и бортовое содержание, рабочую мощность, пустой прослой и др. Для выделения рудных интервалов по пересечениям используется бортовое содержание.

Подсчет детально разведанных запасов производится способом вертикальных разрезов, а по результатам эксплуатационных разведок — способом горизонтальных разрезов. Вследствие большой мощности залежей количество разведочных пересечений на подсчетный блок измеряется единицами. При разделении запасов на балансовые и забалансовые требования к забалансовым запасам должны быть предельно низкими, поскольку все запасы, находящиеся в контурах проектируемого карьера, независимо от их качества будут вскрыты и добыты.

Глава XV

Разведка залежей прерывистого строения

Чем сильнее проявлена прерывистость строения полезного ископаемого, тем сложнее методика его поисков, разведки и геолого-экономической оценки. Размеры пространственно изолированных скоплений полезного ископаемого, превышающие размеры ячеек разведочной сети, поддаются выявлению и оконтуриванию по данным наблюдений в разведочных пересечениях, а более мелкие скопления не могут быть оконтурены по результатам разведочных работ. В лучшем случае удается оконтурить только некоторый продуктивный объем недр, охватывающий все (или почти все) изолированные скопления полезного ископаемого. Этот объем рассмат-

ривается как продуктивная залежь прерывистого строения, а содержащиеся в ней запасы оцениваются статистическим способом как доля суммарных рудных объемов в общем объеме продуктивной залежи.

§ 1. Особенности проявления и группировка прерывистых залежей

В горнорудной практике строение продуктивной залежи считается прерывистым, если объемы пространственно изолированных скоплений полезных ископаемых и разделяющих их участков практически пустых пород сопоставимы с объемами селекции полезного ископаемого, установленными для данного способа разработки месторождения, или больше их. Учет прерывистости внутреннего строения залежей имеет практический смысл только в тех случаях, когда безрудные участки могут быть либо селективно отработаны, либо оставлены в целиках при очистных работах или отделены от рудной массы в процессе рудосортировки (рудоразборки). При объемах отдельных скоплений полезного ископаемого меньше объемов селекции они будут извлекаться из недр совместно с окружающими их породами, а внутреннее строение залежей будет оцениваться как практически сплошное.

Всем месторождениям с прерывистым характером оруденения свойственны некоторые общие черты:

— в строении месторождений проявляются от одного до нескольких последовательных структурных уровней, обусловленных прерывистостью оруденения в разных масштабах. Чем больше число последовательных уровней, тем сложнее внутреннее строение продуктивной залежи;

— природные скопления полезных ископаемых на разных структурных уровнях обнаруживают более или менее отчетливые связи с элементами геологического строения соответствующих масштабов. Поэтому несмотря на прерывистость оруденения в строении продуктивных залежей проявляется зональность или другие пространственные закономерности размещения участков различной степени продуктивности;

— залежи, а также заключенные в их контурах более мелкие скопления полезного ископаемого отличаются нечеткими геологическими границами. Для оконтуривания залежей и выделения внутри них промышленно-ценных участков (объемов) используются специальные кондиции, основанные на совокупном изучении геолого-экономических данных.

В качестве наиболее распространенной характеристики внутреннего строения продуктивных залежей в практике разведки используется коэффициент рудоносности k_p , выражающий долю суммарного рудного объема ΣV_p в общем объеме продуктивной залежи V ,

$$k_p = \frac{\Sigma V_p}{V}. \quad (15.1)$$

Коэффициент рудоносности — это объемная статистическая характеристика, которая позволяет судить только о степени рудонасыщенности продуктивной залежи, но не содержит информации о размерах рудных скоплений и разделяющих их участков практически пустых пород, а также о закономерностях их пространственного размещения в промышленном контуре.

С учетом сложности строения и степени рудонасыщенности залежи с прерывистым строением можно разделить на три группы с высокой, умеренной и слабой рудонасыщенностью.

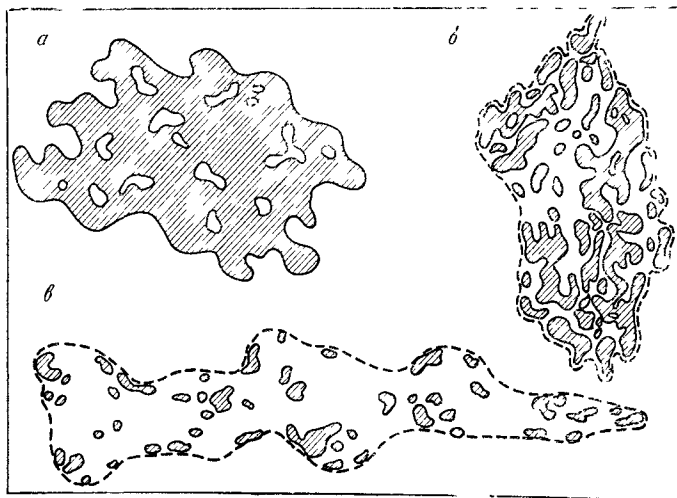


Рис 72 Примеры прерывистого строения залежей.

а — с высокой рудонасыщенностью, *б* — с умеренной рудонасыщенностью, *в* — со слабой рудонасыщенностью

Залежи с высокой рудонасыщенностью ($k_p = 0,7—1$) обладают сравнительно простым внутренним строением с проявлением прерывистости, как правило, только на одном структурном уровне. В контурах практически сплошной минерализации располагаются разбросанные окна пустых пород, объемы которых обычно больше возможных объемов селекции полезного ископаемого (рис. 72, *а*). Высокая рудонасыщенность залежей типична для многих железорудных, бокситовых, полиметаллических, медных, медно-никелевых и др. месторождений

Залежи с умеренной рудонасыщенностью ($k_p = 0,25—0,7$) отличаются сложным строением с проявлением прерывистости на двух и более структурных уровнях. Скопления полезного ископаемого разбросаны друг от друга и обладают самыми различными размерами.

Группы мелких рудных обособлений часто образуют более крупные, прерывистые скопления, разделенные сопоставимыми по размерам участками практически пустых пород (рис. 72, *б*). Таким строением обладают залежи ртутных, урановых, золоторудных,

жильных вольфрамовых, молибденовых и оловянных месторождений.

Залежи со слабой и весьма слабой рудонасыщенностью ($k_p < 0,25$) обладают сложным строением с проявлением прерывистости на нескольких уровнях. Пространственно разбросанные мелкие скопления полезных минералов образуют отдельные гнезда «бонанцы», которые в свою очередь отличаются сложным прерывистым строением. Размеры отдельных гнезд несопоставимо малы по сравнению с размерами разделяющих их участков пустых пород (рис. 72, *в*). Слабая рудонасыщенность залежей типична для месторождений слюды, пьезооптического сырья, драгоценных камней, некоторых золоторудных и других месторождений.

Рассматриваемые ниже особенности разведки, оконтуривания и оценки относятся главным образом к залежам с умеренной рудонасыщенностью.

§ 2. Особенности разведки прерывистых залежей

В процессе разведки месторождений с прерывистым строением особое значение придается выявлению генеральных и локальных рудовмещающих структур, которые значительно лучше выдержаны по простиранию и падению, чем отдельные рудные скопления и могут быть использованы в качестве маркирующих элементов при взаимоувязке геологоразведочных данных по смежным разведочным пересечениям и разрезам. Кроме рудовмещающих структур выявляются элементы зональности залежей (чередования рудных и безрудных участков, участков различной продуктивности) и выясняются геологические причины прерывистости оруденения. В соответствии с принципом последовательных приближений на стадии предварительной разведки в качестве объекта изучения принимается продуктивная зона (толща), включающая систему разбросанных продуктивных залежей с прерывистым строением. В стадию детальной разведки выявляются и оконтуриваются отдельные продуктивные залежи, а в процессе эксплуатационной разведки — промышленно-ценные и пустые (некондиционные) участки, сопоставимые с объемами эксплуатационных блоков, а затем рудные и безрудные объемы, сопоставимые с объемами селекции. По мере детализации разведочных работ рудонасыщенность оконтуриваемых скоплений полезных ископаемых закономерно возрастает, так как все более мелкие безрудные участки поддаются уверенному выделению и остаются за контурами промышленной минерализации. В пределе, когда густота разведочной сети позволит выделить объемы недр, сопоставимые с объемами селекции полезного ископаемого окажется возможным оконтурить все рудные и все практически безрудные участки залежи, доведя рудонасыщенность в контурах промышленной минерализации до 100% ($k_p = 1$). Таким образом, процесс разведки прерывистых залежей представляет собой процесс последовательной пространственной сортировки про-

мышленно-ценных и практически безрудных ее объемов. Для залежей со сложным прерывистым строением и малыми размерами рудных скоплений, это достигается только в процессе эксплуатационной разведки, сопровождающей очистную выемку блоков.

В связи с необходимостью последовательного сгущения разведочной сети в процессе разведочных работ, при разведке прерывистых залежей отчетливо проявляется тенденция к использованию горных выработок и таких систем разведочных работ, которые позволяют осуществлять последовательное и предельно необходимое сгущение сети из ранее пройденных выработок. Использование горных выработок обусловлено тем, что только геологическими наблюдениями в хорошо обнаженных поверхностях можно проследить сплошность оруденения по падению и простиранию залежей, выявить и изучить локальные рудовмещающие структуры. В сочетании с разведочными горными выработками широко используются мелкие шпурсы и подземные скважины.

§ 3. Количественное описание степени прерывистости залежей

Наиболее распространенным количественным показателем строения прерывистых залежей является коэффициент рудоносности. Его оценка k_p вычисляется как отношение суммарной мощности рудных интервалов Σm_p по всем разведочным пересечениям к суммарной мощности продуктивной залежи ΣM .

$$\hat{k}_p = \frac{\Sigma m_p}{\Sigma M}. \quad (15.2)$$

Для пласто- и жилообразных залежей прерывистых только по площади оценки \hat{k}_p может быть получена по отношению количества рудных пересечений n_p к общему количеству пересечений N в контуре залежи. Оценка \hat{k}_p , рассчитанная по формуле (15.2), является несмещенной и состоятельной.

Для получения несмещенной оценки дисперсии s_{k_p} В. А. Викентьевым и М. В. Шумилиным предложена формула

$$s_{\hat{k}_p}^2 = \frac{s_m^2 + \hat{k}_p^2 s_M^2 - 2\hat{k}_p r_{mM} s_m s_M}{nM^2}, \quad (15.3)$$

где s_m^2 и s_M^2 — оценки дисперсий мощности рудных интервалов и общей мощности залежи;

\hat{k}_p — оценка среднего значения коэффициента рудоносности;

r_{mM} — оценка коэффициента корреляции между значениями m и M ;

\bar{M} — средняя мощность рудоносной зоны.

Рассуждения о точности и достоверности коэффициента рудоносности имеют смысл только в том случае, когда надежно опре-

делен объем недр, к которому он относится. Погрешности в определении потенциально рудоносного объема недр являются одновременно и погрешностями оценки коэффициента рудоносности. При оконтуривании прерывистых залежей по заданному содержанию полезного компонента границы рудоносного объема определяются случайным расположением разведочных пересечений относительно рудных концентраций, а погрешность оконтуривания находится в обратной связи с густотой разведочной сети.

Закономерное увеличение коэффициента рудоносности оконтуриваемых рудных объемов по мере сгущения разведочной сети позволяет использовать его в качестве критерия разведанности прерывистых рудных образований. Так, например, В. А. Викентьевым и М. В. Шумилиным [9] показано, что по результатам предварительной разведки штокверкоподобного месторождения удастся надежно оконтурить только общую продуктивную зону и оценить содержащиеся в ней запасы с коэффициентом рудоносности 0,15. При дальнейшей детальной разведке в контурах продуктивной зоны уверенно выделяются прерывистые жило- и штокверкоподобные залежи со средним коэффициентом рудоносности 0,77.

Ограниченные возможности коэффициента рудоносности (только как показателя рудонасыщенности прерывистых залежей) побуждали многих исследователей к поискам иных характеристик, отражающих особенности их внутреннего строения. Для оценки прерывистости залежей полезных ископаемых по площади В. И. Бирюковым (1963 г.) был предложен коэффициент прерывистости $k_{пр}$, представляющий собой отношение числа наблюдаемых перерывов по разведочным пересечениям i к величине коэффициента рудоносности k_p

$$k_{пр} = \frac{i}{k_p}. \quad (15.4)$$

В формуле (15.4) степень прерывистости залежи оценивается показателем i , а коэффициент $k_{пр}$ характеризует сложность строения залежей, учитывая одновременно влияние степени их прерывистости и рудонасыщенности. Практическое использование $k_{пр}$ ограничивается тем, что оценка степени прерывистости непосредственно зависит от суммарной площади рудной залежи.

В качестве меры прерывистости рудных образований μ П. П. Ясковским [18] предложено использовать оценку первой точки транзитивной вариограммы геометрической переменной $K(x)$. Для практических целей мера прерывистости μ может быть рассчитана по формуле

$$\mu = \frac{\Sigma i + \Sigma n + N}{\Sigma M}, \quad (15.5)$$

где Σn и Σi — общее число рудных n и безрудных i интервалов по всем разведочным пересечениям;

ΣM — суммарная мощность рудной залежи;

N — число разведочных пересечений.

Из формулы (15.5) следует, что значение μ пропорционально количеству взаимопереходов рудных и безрудных участков. При постоянной длине проб оно возрастает с увеличением длин рудных и безрудных интервалов. Значения μ могут изменяться от величины, близкой к единице (при очень большом количестве и малых размерах рудных и безрудных интервалов), до величины, близкой к нулю (когда единичные рудные и безрудные интервалы сопоставимы по размерам с длинами разведочных пересечений). Так, для одного из штокверкоподобных месторождений при длине проб в 1 м и коэффициенте рудоносности около 0,4 мера прерывистости изменяется от 0,12 до 0,34 (табл. 17).

Таблица 17

Значения меры прерывистости залежей штокверкоподобного месторождения

Номер разведочного пересечения и его длина, м	Число проб	Число безрудных интервалов	Число рудных интервалов	Коэффициент рудоносности	Мера прерывистости	Средняя длина однородного участка, м
№ 1, 40,5	41	2	2	0,42	0,12	10,1
№ 2; 35,5	36	2	2	0,39	0,14	8,9
№ 3, 41,5	42	7	6	0,39	0,34	3,2
№ 4, 49,0	49	4	4	0,40	0,18	6,1

Численная оценка меры прерывистости позволяет вычислить показатель анизотропии A как отношение оценок для соответствующих направлений. На том же месторождении по падению и простиранию залежи были получены следующие оценки: $\mu_{\text{пад}} = 0,095$; $\mu_{\text{прост}} = 0,112$, откуда

$$A = \frac{\mu_{\text{прост}}}{\mu_{\text{пад}}} = \frac{0,112}{0,095} = 1,27. \quad (15.6)$$

Месторождение разведывается горизонтами горных выработок через 60 м с расстояниями между ортами 50 м, т. е. соотношения сторон ячейки разведочной сети $a : b = 60 : 50 = 1,2$ т. е. учитывает характер анизотропии.

Оценки рудонасыщенности и степени прерывистости залежей могут быть использованы для характеристики сложности их строения. С этой целью П. П. Ясковским предложен коэффициент сложности $k_{\text{сл}}$, характеризующий количество рудных и безрудных интервалов, приходящихся на единицу длины рудного интервала. Коэффициент сложности вычисляется по формуле

$$k_{\text{сл}} = \frac{\mu}{k_p} = \frac{\sum n + \sum i + N}{\sum m_p}. \quad (15.7)$$

В отличие от меры прерывистости коэффициент сложности относится не ко всему рудоносному объему, а только к его рудной части. Для практически сплошных рудных образований его значение стремится к нулю. Для прерывистых залежей с многочислен-

ными мелкими изолированными рудными скоплениями $k_{\text{сл}}$ выражается десятками долями единицы, а для крайне прерывистых залежей может возрастать до нескольких единиц. Данные, характеризующие особенности строения штокверкоподобного месторождения, приведены в табл. 18.

Таблица 18

Характеристики прерывистости строения штокверкоподобного месторождения

Длина разведочных пересечений, м	Число проб при l=1 м	Сумма рудных интервалов	Сумма безрудных интервалов	Средняя длина однородного участка, м	Коэффициент рудоносности	Мера прерывистости	Показатель анизотропии	Коэффициент сложности
Залежь 1								
270 (по простиранию)	270	9	8	16	0,67	0,10	1,9	0,15
120 (по падению)	120	16	16	6,5	0,65	0,19	1,9	0,29
Залежь 2								
208	208	17	16	6,3	0,35	0,21	—	0,57
Залежь 3								
310	310	7	6	24	0,40	0,06	—	0,15

Таким образом, количественное описание важнейших особенностей строения прерывистых рудных образований должно включать в себя характеристики их рудонасыщенности, меры прерывистости и сложности строения.

§ 4. Принципы оконтуривания прерывистых залежей

При оценке рудонасыщенности и сложности строения прерывистых залежей принципиально важное значение имеет правильное их оконтуривание в недрах, так как достоверность количественных оценок непосредственно зависит от пространственного положения обобщающих контуров. Положение обобщающего контура правильно только при том условии, если в нем заключен весь потенциально рудоносный объем недр, а не его часть, случайно выявленная системой пройденных разведочных пересечений. Так, например, при разведке ртутного месторождения в одних разведочных разрезах рудные скопления были обнаружены в висячем боку песчаников, а в других — в их лежащем боку. По этим данным был проведен геологически необоснованно извилистый обобщающий контур, секущий литологически различные прослои в пачке рудоносных песчаников (рис. 73). В результате оценка коэффициента рудоносности в промышленном контуре оказалась сильно завышенной,

а представления о морфологии и условиях залегания рудоносного блока резко искаженными. При правильной оценке рудоносного объема недр следовало бы провести обобщающий промышленный контур по кровле и почве рудомещающих песчаников, что обеспечило бы и правильную оценку коэффициента рудоносности.

Наиболее надежная оценка строения и запасов прерывистых рудоносных образований достигается только при оконтуривании рудоносных объемов по природным геологическим границам: контак-

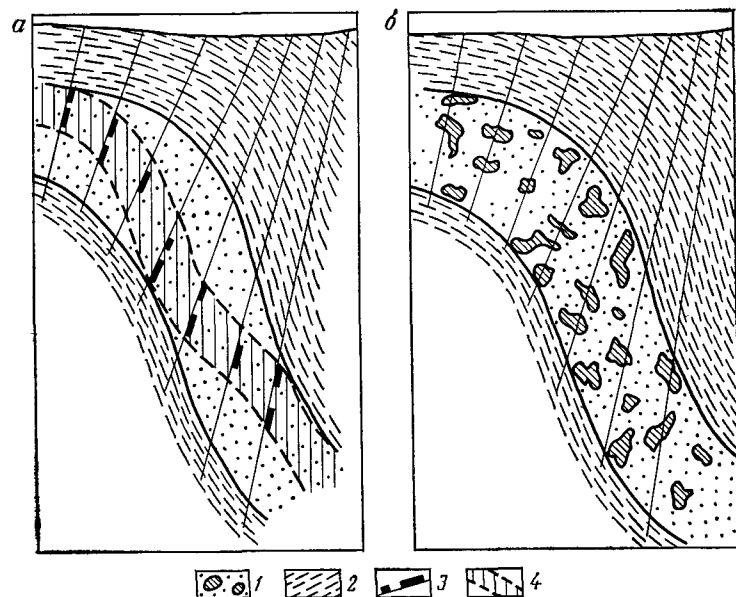


Рис 73 Необоснованное (а) и обоснованное (б) оконтуривание продуктивной залежи по совокупности случайных рудных пересечений
1 — продуктивная пачка кремненных песчаников; 2 — глинистые сланцы; 3 — скважины и рудные интервалы; 4 — геологические обоснованные контуры продуктивной залежи

там рудоносных зон или пород, тектоническим швам, ореолам вкрапленного оруденения или зонам метасоматического изменения пород. Стремление увязать изолированные рудные интервалы разведочных пересечений в единые рудные скопления неизбежно приводит к искажениям представлений о внутреннем строении продуктивных залежей, завышает показатели их рудонасыщенности и ограничивает их истинные контуры в недрах. Во избежание этого необходимо строго выполнять важнейший принцип оконтуривания — геометризовать только те скопления полезного ископаемого, размеры которых заведомо больше размеров ячеек разведочной сети.

На рис. 74 вариант оконтуривания запасов, показанный пунктиром, геологически необоснован. Неправильное оконтуривание запасов привело к тому, что фактический коэффициент рудоносности

в проведенных пунктиром контурах оказался равным не единице, а только 0,49. В то время почти половина запасов руды (42%) осталась за контурами, причем коэффициент рудоносности контурной части составил 0,2 вместо нуля. С учетом пространственной связи рудной минерализации с зоной метасоматитов следовало ограничить продуктивную зону контурами, совпадающими с границами метасоматически измененных пород (сплошной контур). При

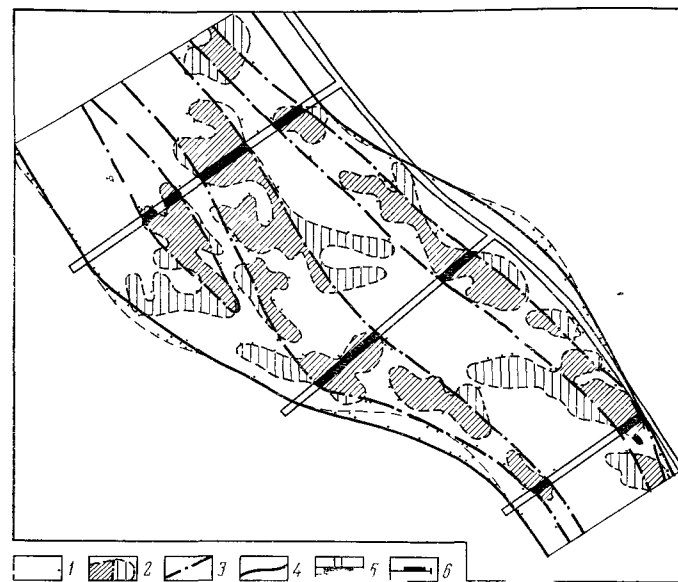


Рис. 74. Оконтуривание запасов рудного участка по редкой разведочной сети (план).

1 — метасоматиты, 2 — истинные контуры практически сплошных рудных скоплений (слева — вошедшие в контур залежи, справа — оставшиеся за контурами залежи), 3 — контуры залежей обоснованные, 4 — контуры залежей обоснованные, 5 — разведочные горные выработки и рудные интервалы, 6 — разведочные скважины и рудные интервалы

таким варианте оконтуривания оценка коэффициента рудоносности потенциально рудоносной площади, полученная по ортам (0,39), окажется близкой к истинному площадному коэффициенту рудоносности (0,33).

Сгущение сети с помощью горизонтальных разведочных скважин позволяет уточнить контуры продуктивной залежи, оставляя за ними крупные, практически безрудные участки. В результате коэффициент рудоносности повышается до 0,71, что близко к подсчитанному по сумме всех пересечений (0,74), а за промышленным контуром остается весьма незначительная часть запасов руды (рис. 75).

На достоверность оценок продуктивности потенциально рудоносных объемов оказывают влияние установленные кондициями минимальные мощности рудных интервалов и предельно допусти-

мые мощности пустых пород, которые должны учитываться при расчете коэффициента рудоносности.

Минимальная мощность рудного интервала для включения его в расчет коэффициента рудоносности должна быть не менее ширины очистного пространства, так как в другом случае неизбежно разубоживание рудных скоплений за счет окружающих пустых пород. При открытой добыче минимальная мощность рудных интервалов по разведочному сечению принимается равной высоте уступа (10—15 м). При подземной разработке она зависит от ширины

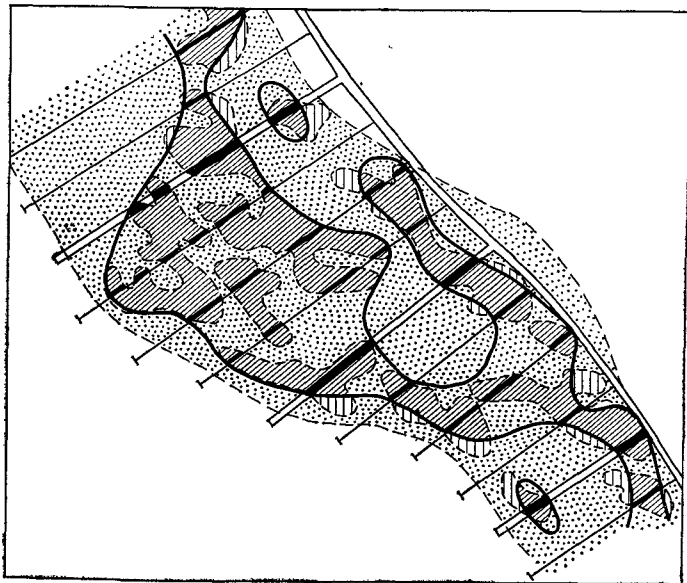


Рис. 75. Оконтуривание запасов рудного участка по густой разведочной сети.

Условные обозначения те же, что и на рис. 74

забоя очистной выработки и возможностей селективной выемки. Так, например, на одном из ртутных месторождений было установлено, что экономически целесообразна селективная отработка рудных скоплений объемом не менее 120 м³. При выделении рудных интервалов в них должны включаться пустые прослои, размерами меньше предельно допустимой мощности участков пустых пород, включаемых в промышленный контур на разубоживание.

§ 5. Оценка степени разведанности прерывистых залежей

Для суждения о степени разведанности прерывистых залежей могут быть использованы следующие оценочные параметры:

— погрешности геометризации обобщающих контуров и степень рудонасыщенности прерывистых залежей;

— погрешности геометризации практически сплошных рудных скоплений по заданной разведочной сети;

— погрешности оценок среднеблочных содержаний металлов в контурах промышленной минерализации.

На ранних стадиях геологоразведочных работ, когда расстояния между смежными разведочными пересечениями заведомо больше средних размеров практически сплошных рудоносных скоплений, количественно могут быть оценены только погрешности геометризации обобщающих контуров и рудонасыщенность прерывистых залежей.

Погрешность геометризации обобщающего контура зависит от его сложности и густоты разведочной сети. Для заданной разведочной сети они могут быть вычислены через линейчатый спектр амплитуд гармоник полигармонической случайной функции мощностей залежи. Линейчатый спектр обеспечивает оценку s_k — стандарта мощности обобщающего контура залежи, связанного с высокочастотными гармониками d_k , периоды которых меньше принятого шага разведочной сети. Зная s_k , можно рассчитать ошибку геометризации обобщающего контура $\delta_{об}$ по формуле:

$$\delta_{об} = \frac{1}{2} \frac{s_k}{\bar{M}}, \quad (15.8)$$

где \bar{M} — средняя мощность залежи.

Погрешности вычисления коэффициента рудоносности оцениваются методами вариационной статистики случайных величин для заданных уровней статистической значимости с использованием формулы (15.3).

Погрешности геометризации практически сплошных рудоносных скоплений могут быть прогнозированы по методу аналогии с использованием коэффициента сложности строения прерывистых залежей по формуле:

$$\delta = \frac{s_k}{2} k_{сл}. \quad (15.9)$$

Формула (15.9) введена П. П. Ясковским для оценок погрешностей геометризации практически непрерывных рудоносных скоплений при заданной густоте разведочной сети и сходном характере анизотропии строения залежей. Она показывает, что погрешность геометризации функционально зависит от коэффициента сложности. Установленная зависимость экспериментально проверена на месторождениях с прерывистым строением залежей. По участкам детализационных работ определялись значения δ и $k_{сл}$, а по экспериментальным данным строились регрессионные кривые. Полученные результаты оказались настолько близкими, что позволили обобщить их в виде сводного графика (рис. 76). Пользуясь таким графиком, можно оценить ожидаемую погрешность геометризации практически сплошных рудных скоплений при расстояниях между разведочными пересечениями в 25, 50 и 75 м, при условии, что размеры отдельных рудных скоплений будут заведомо больше рас-

стояний между смежными пересечениями. Так, например, при разведке залежи 3 штокверкоподобного месторождения см. табл. 18 по сети 25×25 м погрешность оконтуривания практически сплошных рудоносных участков составит примерно $\pm 10\%$ при условии, что размеры этих участков по падению и простиранию будут заведомо больше 25 м. По результатам эксплуатационных разведок аналогичные графики могут быть составлены и для более густых разведочных сетей. Таким образом, показатель $k_{сл}$ является объективным критерием сложности, по которому могут быть прогнозированы вероятные погрешности геометризации рудоносных скоплений при сгущении разведочной сети.

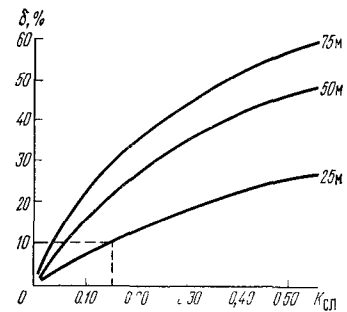


Рис. 76. Зависимость погрешностей геометризации δ от коэффициента сложности $k_{сл}$

Для оценки погрешностей среднечисленных содержаний полезных компонентов в контурах промышленной минерализации используются обычные статистические методы, так как в условиях прерывистого строения залежей в наблюдаемой изменчивости содержаний и линейных запасов по смежным

разведочным пересечениям доминирует ее случайная составляющая. Доля неслучайной составляющей изменчивости обычно невелика. Она уменьшается с увеличением меры прерывистости и с уменьшением коэффициента рудоносности.

Глава XVI

Разведка месторождений различных видов полезных ископаемых

В настоящее время в нашей стране добывается более ста видов рудных, нерудных и горючих полезных ископаемых, которые встречаются в недрах в твердом, жидком или газообразном состоянии. Методические приемы их разведки, опробования, оконтуривания и геолого-экономической оценки весьма разнообразны. Они зависят от особенностей геологического строения рудных полей и месторождений, свойств полезных ископаемых, особенностей их состава, условий разработки, переработки и использования в промышленности.

Научной основой и залогом успеха проведения разведочных работ является глубокое знание геологии, минералогии и геохимии данного вида полезного ископаемого, геолого-промышленных типов его месторождений и требований промышленности к данному виду минерального сырья. Чрезвычайно важно знать природные парагенезисы минералов и комплексы совместно встречающихся полезных ископаемых для того, чтобы выявлять и оценивать пол-

ный комплекс полезных компонентов при разведке любого месторождения.

Ниже рассматриваются только некоторые особенности разведки и геолого-экономической оценки месторождений различных видов полезных ископаемых, которые возникают в связи:

- с особым составом или свойствами полезных ископаемых в недрах;
- с условиями использования минерального сырья в промышленности,
- со спецификой технологии разработки месторождений;
- с исключительно высокой или с весьма низкой ценностью полезного ископаемого;
- с жидким или газообразным состоянием полезного ископаемого в недрах

§ 1. Особенности разведки, обусловленные составом или свойствами полезного ископаемого в недрах

Особенности минерального или химического состава полезного ископаемого оказывают существенное влияние на методику разведки месторождений. Полезные ископаемые, представленные одним полезным минералом сложного, но постоянного химического состава — лопаритом, монацитом, пирохлором и др., подвергаются минералогическому, а не химическому опробованию с последующим пересчетом содержаний полезных элементов в руде по данным анализов мономинеральных фракций. Минералогические методы опробования оказываются более эффективными и при разведке россыпных месторождений.

Способность некоторых минералов к люминисценции в катодных, ультрафиолетовых и др. лучах используется при геологическом картировании (реже для опробования) поисках и разведках шеелитовых, алмазных, урановых, флюоритовых и битумных месторождений

Сыпучесть россыпных, гравийных и песчаных месторождений заставляет применять поверхностные горные работы или скважины вращательного бурения со сплошным опережающим креплением и валовым опробованием песков. При изучении проб первостепенное значение приобретает гранулометрический анализ с выяснением распределения полезных минералов по фракциям.

Из-за легкой растворимости минеральных солей месторождения разведываются почти исключительно колонковыми буровыми скважинами большого диаметра. Поскольку каждая скважина может оказаться проводником подземных вод, особое внимание уделяется ее тщательной изоляции и тампонажу густым глинистым раствором, а количество скважин принимается предельно малым.

Разведка гипсов, доломитов, известняков и полезных ископаемых, залегающих в толщах легкорастворимых вмещающих пород (бокситы, угли), часто осложняется проявлениями карста. Для изучения карста и оконтуривания карстовых полостей сеть буровых

скважин намеренно сгущается, а в комплексе с буровыми работами проводится инженерно-геологическая сейсморазведка.

Газообильность многих угольных месторождений, месторождений углистых сланцев и других полезных ископаемых, расположенных в пределах региональных газоносных проявлений, требует проведения: специальных газовых съемок, газокаротажных работ, изучения качественного состава и количества газов во вмещающих породах и трещинных структурах, выяснения степени влияния тектоники, состава пород, подземных вод и других факторов на ход процессов природной дегазации и характер распределения газов.

Высокая сульфатность вод на месторождениях серы и на колчеданных месторождениях способствует замене горных работ разведочными скважинами. Обладая высокой агрессивностью, а часто и повышенной температурой, такие воды интенсивно корродируют металлические конструкции, разрушают бетон, ухудшая условия подземных геологоразведочных работ.

§ 2. Особенности разведки, связанные с условиями использования минерального сырья в промышленности

В зависимости от производственного назначения минерального сырья промышленность предъявляет к нему самые различные требования. Для большинства металлических руд обязательно условие их рентабельного обогащения. Для черных (реже других) металлов устанавливаются допустимые содержания вредных компонентов. Значительно более строги и разнообразны требования промышленности к использованию многих видов нерудного сырья, особенно полезных минералов и полезных горных пород. Эти требования устанавливаются специальными технологическими условиями (ТУ) или государственными стандартами (ГОСТ). Для решения вопроса о том, в какой степени полезные ископаемые отвечают установленным требованиям промышленности, в процессе разведки месторождений проводятся сортировка и специальные испытания минерального сырья, комплексные исследования состава и свойств полезных ископаемых и технологическое картирование полезного ископаемого.

Сортировка и специальные технические испытания с определениями выхода минерального сырья по каждому сорту проводятся при разведках месторождений: слюд, асбеста, пьезооптического сырья, драгоценных, поделочных и облицовочных камней и некоторых других полезных ископаемых. Так, например, при разведке слюдяных месторождений валовым опробованием (реже опробованием зерна) устанавливается выход забойного сырья — кристаллов слюды размером по плоскости спайности не менее 4 см². Содержание забойного сырья выражается в килограммах на 1 м³ жильной массы. Забойный сырец подвергается разборке и из него выделяют промышленный сырец — кристаллы слюды тех же размеров, поверхность которых на плоскостях спайности не содержит видимых дефектов (трещин, проколов, минеральных вклю-

чений и др.). По размерам кристаллов промышленный сырец разделяется на три группы: I группа — более 100 см²; II — группа — от 100 до 50 см² и III группа — от 50 до 4 см². Содержание промышленного сырья выражается в процентах от веса забойного сырья. Кристаллы промышленного сырья расщепляются по спайности на пластинки толщиной от 0,1 до 2 мм. Полученная колотая слюда в зависимости от размеров полезной площади кристалла разделяется на восемь номеров: от № 1 площадью более 150 см² до № 8 — площадью от 6 до 4 см². Содержание колотой слюды выражается в процентах от веса забойного сырья.

Подсчет и учет запасов слюды в недрах производится в забойном сырце, а оконтуривание и оценка запасов — по так называемым качественным показателям, которые вычисляются сначала отдельно для каждого номера колотой слюды, а затем суммарно для всей пробы. С этой целью весовые количества колотой слюды для всей пробы. С этой целью весовые количества колотой слюды умножаются на средние площади пластин каждого номера, произведенные складываются и делятся на общий объем пробы. Например, если из пробы объемом 3,5 м³ забойного сырья было получено 20,5 кг колотой слюды, а сумма произведений весовых количеств слюды (кг × см²) на средние площади пластин каждого номера составила 217, качественный показатель будет равен: $217 : 3,5 = 62 \text{ кг/см}^2/\text{м}^3$.

Значения качественных показателей используются для расчета кондиционных минимальных промышленных и бортовых содержания [34]

При разведке месторождений оптического сырья основным условием кондиционности кристаллов является наличие в них бездефектных областей — моноблоков, лишенных трещин, посторонних включений, свилей, двойников и других дефектов. Минимальные размеры моноблока пьезокварца должны обеспечивать возможность изготовления хотя бы одной пластинки размером 12×12×1,5 мм. Условия кондиционности оптического кварца еще строже, так как в числе дополнительных требований предусматривается бесцветность кристаллов, прозрачность для ультрафиолетовых лучей, однородность по показателю преломления и отсутствие оптических дефектов. Природные кристаллы кварца подвергаются обогащению путем скалывания дефектных частей, в результате чего получают кристаллосырье различных сортов: оптический кварц и пять сортов пьезокварца — от сортов экстра до четвертого. Отходы обогащения используются как сорта «спецплавка» и «плавка». В связи с этим для оценки пьезокварца установлено три показателя: процент выхода моноблоков, масса полученного кристаллосырья и моноблоков кварца.

При оценке месторождений полезных ископаемых особенно важное значение приобретает правильное определение сортности минерального сырья и количественных соотношений отдельных сортов, поскольку стоимости кристаллов разных сортов слюды, асбеста, пьезокварца и других полезных минералов расходятся в десятки и сотни раз. Так, цена прокладочной слюды составляет

80 руб., а телевизионных пластин до 4 650 руб. за 1 кг. Оптический пьезокварц оценивается 2 000 руб., пьезокварц 4 сорта — 30 руб., а различные сорта «плавки» от 1 до 20 руб. за 1 кг.

Комплексные исследования состава и свойств минерального сырья проводятся для тех видов полезных ископаемых, которые находят широкое и разнообразное применение в народном хозяйстве (пески, карбонатные породы, глины, каолины, полевые шпаты, твердые горючие и некоторые другие полезные ископаемые). При разведке подобных месторождений качество и свойства минерального сырья должны оцениваться не только с позиций основного производства, но также с учетом возможности использования сырья в других отраслях промышленности и сельского хозяйства. Полное изучение состава и свойств полезных ископаемых обеспечивает комплексное и экономически более эффективное использование недр для нужд народного хозяйства, но требует расширения видов анализов, различных технических и технологических испытаний проб. Так, например, пески используются в стекольном производстве в качестве формовочного материала для производства силикатного кирпича, блоков, пено- и газосиликатных изделий как добавка к цементу, для штукатурных и кладочных растворов в качестве абразивных материалов и др.

В качестве формовочных песков применяются чистые кварцевые, глинистые кварцевые и полевошпатово-кварцевые пески. По содержанию кремнезема и глинистой составляющих формовочные пески подразделяются на девять классов: от чистых кварцевых (классы от 1 К до 4 К) с содержанием глинистой составляющей 2%, кремнезема до 97% до жирных и очень жирных песков (Ж и ОЖ) с содержанием глинозема соответственно 10—30 и 30—50%. Качество формовочных песков зависит также от содержания окиси железа, окислов щелочей, щелочных земель и от их газопроницаемости.

Для производства силикатных строительных материалов употребляются существенно кварцевые разнозернистые пески с содержанием кремнезема около 80—90%, глинистых, илистых и пылеватых частиц не более 3—12%. В цементном производстве используются кварцевые пески (не менее 90% кремнезема) с суммарным содержанием глинистых, илистых и пылеватых фракций не более 5% без органических примесей. Для песков, употребляемых при изготовлении штукатурных и кладочных растворов, выдерживаются специальные требования к их гранулометрическому составу, предельному содержанию сернистых и сернокислых соединений.

Для абразивных целей используются чистые кварцевые пески (не менее 98% кремнезема), не содержащие минералов с большей твердостью, чем у кварца. Зерна должны быть остроугольными, размерами 0,15—0,4 мм и обладать изометрическими формами.

Не менее разнообразные требования предъявляются к качеству и специфическим свойствам карбонатных пород — известняков, доломитов, доломитизированных известняков, мраморов и др., для использования их в качестве флюсов, при производстве цемента,

в качестве огнеупорных, строительных, термоизоляционных и облицовочных материалов и др. В связи с широким использованием карбонатных пород в самых различных отраслях народного хозяйства, единых стандартов и общих технических условий к их качеству не существует. Основными показателями пригодности карбонатных пород для промышленного использования являются их химический состав, содержание вредных примесей, структурно-текстурные особенности, физико-механические и некоторые другие специфические свойства. Так, например, в производстве цемента карбонатные породы составляют основную часть цементной шихты (меньшую часть составляют глинистые породы). Содержание карбонатного и глинистого компонентов в цементной шихте должно обеспечивать допустимые значения коэффициента насыщения (КН), силикатного и глиноземного модулей

$$КН = \frac{CaO - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,70SiO_2)}{2,8SiO_2} = \text{от } 0,89 \text{ до } 0,92,$$

силикатный модуль

$$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \text{от } 1,8 \text{ до } 2,4,$$

глиноземный модуль

$$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = \text{от } 0,9 \text{ до } 2,0.$$

В естественном виде эти соотношения выдерживаются только в мергелях «натуралах», которые используются для производства цемента без добавления глины. В цементном производстве учитываются также размалываемость и размокаемость карбонатных пород. Качество карбонатных пород как строительных материалов определяется их механической прочностью в сухом и водонасыщенном состоянии, морозостойкостью, вязкостью, изнашиваемостью, удельной и объемной массой, пористостью, свободным водопоглощением и полируемостью.

Технологическое картирование полезного ископаемого проводится при разведке сложных по составу месторождений, когда в общих контурах залежей объединяются участки, сложенные полезными ископаемыми различных технологических типов и сортов (колчеданные, медные и полиметаллические месторождения, месторождения глин, песков, карбонатных пород и других полезных ископаемых).

При разведке подобных месторождений приводится следующее:

— выделяются все природные типы и сорта полезного ископаемого, после чего устанавливается, какие из них заслуживают выделения в самостоятельные технологические типы и сорта,

— изучаются и оконтуриваются участки, сложенные полезными ископаемыми различных технологических типов и сортов;

— геометризуются важнейшие технологические свойства полезного ископаемого в контурах каждого технологического типа (сорта) полезного ископаемого.

§ 3. Особенности разведки, обусловленные спецификой технологии разработки месторождений

Предполагаемая технология разработки месторождений оказывает заметное влияние на методику и технику геологоразведочных работ. Открытые способы разработки способствуют снижению требований промышленности к качеству минерального сырья и увеличению масштабов производства, что приводит к увеличению размеров залежей полезных ископаемых, упрощению представлений об их внутреннем строении и в конечном итоге — к разрежению разведочной сети и широкому использованию буровых способов разведки. Для проектирования открытой разработки главное значение имеет правильное определение внешних контуров залежей, поскольку ими ограничивается расположение бортов карьера, в то время как при проектировании подземной отработки чрезвычайно важно знать условия залегания и детали пространственного размещения всех продуктивных скоплений в контурах залежи. Месторождения, предназначенные для карьерной разработки, разведываются относительно редкой сетью скважин со сгущением их главным образом во внешней зоне, а месторождения, предназначенные для подземной отработки, разведываются горно-буровыми системами с равномерным и детальным изучением всего объема минерализованных пород.

Заметное влияние на последовательность разведочных операций и густоту разведочной сети оказывают проектируемые технические средства отработки месторождений. Так, например, для применения горных комбайнов при отработке угольных и некоторых других пластовых месторождений необходимо, чтобы отметки кровли и почвы рудного пласта не испытывали бы резких изменений на коротких расстояниях. Мелкие складки или пострудные смещения пластов с амплитудами более 1 м должны выявляться в процессе разведочных работ, что возможно только при сплошном прослеживании пластов или при очень густой сети разведочных пересечений. Для оценки погрешностей линейной интерполяции кровли или почвы рудного пласта, в зависимости от шага наблюдения l Н. Ф. Алексеевым [3] предложена формула

$$\delta_{\max} = \pm \frac{1}{2} \sigma [1 - \rho(l)], \quad (16.1)$$

где δ — максимальная погрешность линейной интерполяции контакта залежи;

σ — среднеквадратичное отклонение отметок почвы (кровли) залежи;

$\rho(l)$ — автокорреляционная функция высотных отметок почвы (кровли) залежи.

Большое влияние на методику проведения разведочных работ оказывает применение геотехнологических методов отработки месторождений — подземной газификации углей, подземной выплавки серы, подземного выщелачивания урана, меди и др. полезных

ископаемых [12]. Для выбора правильной методики разведки уже в подстадию поисково-оценочных работ необходимо выявить и оценить природные факторы, обеспечивающие возможность применения геотехнологических методов:

— свойства полезного ископаемого, способствующие переводу его в подвижное состояние (способность углей к газовыделению при неполном сгорании, свойство серы плавиться при температуре 119 °С, растворимость ряда соединений урана, меди, других металлов в слабоконцентрированных кислотах);

— свойства залежей, определяющие условия доставки рабочего агента к месту реакции и отвод продуктов (проницаемость вмещающих пород);

— свойства залежей, позволяющие искусственно изменить проницаемость пород (например, способность к трещинообразованию при подземных взрывах);

— свойства руд и вмещающих пород, определяющие их взаимодействие с рабочими агентами и непроизводительные утечки рабочих агентов (химическая активность вмещающих пород, наличие тектонических нарушений, нарушения сплошности водоупоров и др.).

Предварительная разведка проводится уже с учетом специфики геотехнологического метода добычи. В процессе предварительной разведки месторождений, предназначенных к разработке методом подземного выщелачивания, выясняются главные природные факторы, определяющие экономические показатели отработки месторождения: геологические и извлекаемые запасы полезного ископаемого, условия залегания, состав и строение рудных залежей и вмещающих пород, фильтрационные свойства рудовмещающей толщи и другие природные факторы.

В процессе детальной разведки уточняются полученные ранее сведения и выясняются второстепенные природные факторы, определяющие технические параметры эксплуатации. Детальная разведка должна обеспечить исходные данные для расчетов систем расположения нагнетательных и дренажных скважин. С этой целью по сгущенной разведочной сети уточняются сведения о запасах, проницаемости, динамической пористости рудных залежей и вмещающих пород, а также о факторах, обуславливающих изменение этих показателей в процессе отработки месторождения. В пределах типичных эталонных участков проводится натурное моделирование путем опытных откачек и закачек с использованием геофизических методов исследований коллекторских свойств.

В процессе эксплуатационных разведок уточняются запасы и геологическое строение эксплуатируемых участков и выявляются дополнительные сведения, способствующие планированию и оперативному управлению производством.

§ 4. Особенности разведки, обусловленные исключительно высокой или весьма низкой ценностью полезного ископаемого

Исключительно высокая ценность некоторых видов минерального сырья связана с их редкой встречаемостью в природе, малыми размерами минеральных скоплений и весьма низкими их концентрациями в недрах. К их числу относятся алмазы, пьезооптические минералы, золото в некоторых золоторудных месторождениях, драгоценные и полудрагоценные камни. Месторождения этих видов минерального сырья характеризуются крайне невыдержанным гнездовым распределением полезных минералов или столь редкой и неравномерной их вкрапленностью во вмещающих породах, что обычные методы опробования не обеспечивают уверенных статистических данных для оценки средних содержаний. Поэтому опробование производится валовыми способами или в процессе проходки горных выработок с оценкой выхода полезного минерала на всю добытую массу вмещающих пород. Если содержание полезного минерала составляет стотысячные или миллионные весовые доли (граммы на тонну для золота или платины, караты для алмазов) появляется необходимость расчета минимальных весов проб, в которых с заданной вероятностью можно ожидать появления хотя бы одного кристалла полезного минерала.

Для получения уверенных результатов опробования разведка подобных месторождений осуществляется горными выработками. Исключение представляют только коренные месторождения алмазов, которые разведываются с помощью горнобуровых работ. При разведке оптических и драгоценных минералов горноразведочные выработки стараются проходить по возможности без буровзрывных работ или с резким ограничением зарядов во избежание порчи крупных кристаллов.

Весьма низкой ценностью обладают широко распространенные полезные ископаемые (каменные строительные материалы, наполнители бетона, керамическое, стекольное и цементное сырье). Разведка этих месторождений производится ограниченным числом буровых скважин и по редкой разведочной сети. Как правило, промышленностью осваиваются только те месторождения, которые находятся в благоприятных географо-экономических условиях, в непосредственной близости от потребителей, могут разрабатываться открытым способом при коэффициенте вскрыши не более 1:1 и абсолютных мощностях вскрыши менее десяти метров.

В связи с низкой стоимостью единицы минерального сырья особое значение приобретают точное оконтуривание вскрышных пород, особенно на поздних стадиях разведки, по результатам которой проектируется и планируется развитие добычных работ. При разведке нередко приходится сгущать сеть буровых скважин не для уточнения сведений по запасам полезного ископаемого, а для выяснения характера подошвы вскрышных пород, поверхности погребенного палеорельефа, оконтуривания карстовых размывов и

полостей. Часто для этого используются геофизические методы (вертикальное электроразведывание, инженерно-сейсмическое профилирование и др.).

§ 5. Особенности разведки жидких и газообразных полезных ископаемых

К числу жидких и газообразных полезных ископаемых относятся нефть, горючие газы и природные воды, условия формирования и проявления которых настолько своеобразны, что уже давно изучаются в самостоятельных научных дисциплинах. Ниже в сравнительном плане рассматриваются только некоторые принципиальные отличия методики их разведки от разведки месторождений твердых полезных ископаемых.

От месторождений твердых полезных ископаемых нефтегазодобывающие месторождения отличаются:

- способностью нефти и газа к передвижению в горных породах при изменении термодинамических условий;
- сложными формами залежей, зависящими от сочетания литолого-фациальных особенностей разреза, типа складчатых структур и проявления разрывной тектоники;
- различной нефте- и газонасыщенностью участков залежей, в зависимости от литологического состава, тектонических особенностей и физико-механических свойств коллекторов;
- зависимостью контуров нефте- и газодобываемости от динамики пластовых вод, наличия разрывных нарушений, от положения и количества скважин, пробуренных в контурах или вблизи залежей.

При наличии коллекторов, благоприятными структурами для формирования нефтяных и газовых месторождений в пределах нефтеносных областей являются антиклинальные складки, куполовидные поднятия и моноклинали, со стратиграфическими или фациально выклинивающимися нефтеносными толщами.

Разведке нефтяных и газовых месторождений предшествуют региональные геолого-геофизические работы, подготовка площадей к поисковому бурению геолого-геофизическими методами, структурное, опорное, параметрическое и поисковое бурение на нефть и газ. Из геофизических методов на этих стадиях исследований особенно успешно используются сейсморазведка, реже гравиметрические и электрометрические методы. Для изучения скважин широко применяются методы их комплексного каротажа.

В отличие от твердых полезных ископаемых разведка нефтяных и газовых месторождений осуществляется в одну стадию. Предварительная геолого-экономическая оценка выявленных месторождений проводится уже по результатам поисковых работ с подсчетом запасов нефти, газа, конденсата* и других сопутствующих компо-

* Конденсатом называется жидкая часть газоконденсатов природной системы взаиморастворимых газообразных и легкоиспаряющихся жидких нефтяных углеводородов. В термодинамических условиях земных недр они находятся в газообразном фазовом состоянии, а в условиях дневной поверхности, при охлаждении и снижении давления до атмосферного — выпадают в виде конденсата.

нентов (гелия, серы и др.) по категориям C_1 и C_2 . В процессе разведки производится подготовка месторождения к промышленному освоению, а запасы нефти и газа подсчитываются и оцениваются по категориям C_1 и B . Запасы категории A устанавливаются только по результатам опытно-эксплуатационных работ.

В числе балансовых запасов нефти и конденсата выделяются и учитываются извлекаемые запасы, т. е. запасы, которые могут быть извлечены при наиболее полном и рациональном использовании современной техники.

Разведка нефтяных и газовых месторождений проводится с помощью буровых скважин колонкового, роторного или турбинного бурения, которые располагаются по изометрической или прямоугольной сети (по разведочным профилям) в зависимости от ориентировки и размеров залежей, степени выдержанности нефтегазоносных пластов и сложности тектоники месторождения. Расстояния между скважинами при разведке крупных и выдержанных нефтесодержащих пластов для подсчета запасов по категории B измеряются первыми километрами, а для небольших и исключительно невыдержанных пластов уменьшаются до сотен метров.

По каждой разведочной скважине проводится комплекс геологических и промыслово-геофизических наблюдений, отбираются образцы пород и пробы нефти, газа, конденсата и нефтяных вод.

Запасы нефти и газа подсчитываются на структурных планах объемным методом отдельно для каждой изолированной залежи.

Объемный метод основан на определении объема продуктивного пласта в контурах нефтяной или газовой залежи. Общие запасы нефти Q_0 подсчитываются по формуле

$$Q_0 = Fhm\beta_n\theta d, \quad (16.2)$$

где F — площадь залежи, m^2 ,
 h — средняя эффективная мощность пласта, m ,
 m — коэффициент эффективной пористости (отношение объема пор к объему залежи), доли единицы,
 β_n — коэффициент нефтенасыщенности пород (степень заполнения пор нефтью), доли единицы;
 θ — пересчетный коэффициент, учитывающий изменение объема пластовой нефти при подъеме ее на поверхность;
 d — удельная масса нефти.

Коэффициент m определяется опытным путем по образцам, полученным из скважин. Коэффициент β_n зависит от гидростатического давления краевых вод и других факторов. Его величина колеблется от 0,5 до 0,8.

Для расчета извлекаемых запасов нефти Q_n общие ее запасы умножаются на коэффициент нефтеотдачи:

$$Q_n = Q_0 k_n. \quad (16.3)$$

Коэффициент k_n зависит от способов эксплуатации, температуры и газового давления нефтяной залежи, физических свойств неф-

ти и других факторов. Его величина может изменяться от 0,2 до 0,8.

При подсчете запасов свободного газа объемным методом коэффициент отдачи принимается равным единице. Общие запасы газа V зависят от площади залежи F , эффективной газонасыщенности мощностной пласта h , коэффициента эффективной пористости m и величины пластового давления в залежи газа p на дату подсчета. В общую подсчетную формулу

$$V = Fhmp \quad (16.4)$$

вводятся поправки за отклонение углеводородных газов от идеальных и за температуру.

Подземные воды используются в самых различных отраслях народного хозяйства для питьевого и технического водоснабжения, в качестве сырья для извлечения ценных компонентов, для орошения сельскохозяйственных угодий и водопоя скота, для лечебных и других целей. В естественных условиях подземные воды находятся в непрерывном движении, в связи с чем их количество и качество изменяются во времени как под влиянием природных условий, так и в результате эксплуатации. Эта особенность подземных вод, а также способность частично или полностью восполняться в процессе эксплуатации, отличает их от всех других видов твердых и жидких полезных ископаемых. При оценке запасов подземных вод помимо их объема требуется знать расход естественного потока и во всех случаях — обеспеченность восполнения подземных вод, отбираемых при эксплуатации.

Объем гравитационной воды, содержащейся в порах и трещинах пород, называется вековыми, или **статическими**, запасами, а расход естественного подземного потока отождествляется с понятием динамических запасов подземных вод.

Количество (расход) подземных вод, которое может быть получено из водоносных горизонтов рациональными водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве вод, называется эксплуатационными запасами подземных вод. Эксплуатационные запасы выражаются в кубических метрах в сутки и подлежат оценке, подсчету и учету по результатам разведочных работ.

Требования к качеству подземных вод исключительно разнообразны. Они определяются: для вод питьевого назначения — соответствующими ГОСТами; для вод, используемых в промышленности и в сельском хозяйстве — водопотребляющими организациями; для вод лечебного назначения — органами здравоохранения. Требования к качеству вод, используемых для извлечения из них ценных компонентов и для розлива, определяются кондициями, утвержденными ГКЗ СССР. Кроме требований к их качеству, одновременно разрабатываются требования к режиму (условиям эксплуатации) подземных вод.

Месторождениями подземных вод называются скопления подземных вод, отвечающих по количеству и качеству тому или иному назначению использования их в народном хозяйстве.

По природным факторам, определяющим методику разведки месторождений подземных вод, они разделяются на две группы:

I — месторождения грунтовых и неглубоких напорных вод;

II — месторождения глубоких напорных (артезианских) вод.

Эксплуатационные запасы месторождений I группы обеспечиваются за счет динамических и статических запасов водоносных горизонтов, а эксплуатационные запасы месторождений II группы — только за счет статических запасов.

Разведка подземных вод осуществляется буровыми скважинами с применением комплекса геофизических работ (которые приобретают первостепенное значение при разведке месторождений II группы), глубокими роторными и турбинными скважинами. С помощью скважинных геофизических методов устанавливаются мощности, строение и фильтрационные свойства водовмещающих пород. Разведочные работы сопровождаются комплексом лабораторных исследований по определению водопроницаемых свойств пород, физико-химических и бактериологических свойств вод. По назначению скважины разделяются на разведочные и наблюдательные.

Разведочные скважины размещаются с учетом наиболее полной характеристики гидрогеологических условий месторождения и рациональной в данных условиях схемы водозабора. Наблюдательные скважины располагаются вокруг разведочных, образуя опытные кусты или группы. Расстояния между разведочными скважинами устанавливаются в зависимости от изменчивости литологического состава, строения и фильтрационных свойств водовмещающих пород, гидравлического режима водоносного горизонта, условий восполнения эксплуатационных запасов и намеченной схемы водозабора. Для месторождений I группы они составляют первые сотни метров, а для месторождений II группы — изменяются от сотен метров до 2—3 км.

Из каждой разведочной скважины проводятся пробные, опытные или опытно-эксплуатационные откачки и изучается качество вод.

Подсчет запасов подземных вод производится по методам и формулам подземной гидравлики. Динамические запасы подсчитываются по выбранному сечению для условий непрерывно действующего водозабора. Статические запасы подсчитываются объемным методом с учетом коэффициента водоотдачи водовмещающих пород, который устанавливается по данным длительных откачек.

1. Агошков М. И., Малахов Т. М. Подземная разработка рудных месторождений. М., «Недра», 1965. 663 с.
2. Агошков М. И., Хрущов Н. А. Критерии экономической эффективности геологоразведочных работ. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 12, с. 126—136.
3. Алексеев Н. Ф. Анализ изменчивости контуров рудных залежей и расчет параметров разведочной сети при разведке железорудных месторождений. — «Сб. трудов ВИОГЕМ», 1974, вып. 19, с. 107—113.
4. Альбов М. Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1975. 232 с.
5. Альбов М. Н., Быбочкин А. М. Рудничная геология. М., «Недра», 1973. 432 с.
6. Арцибашев В. А. Ядерно-геофизическая разведка. Атомиздат, 1972, 400 с.
7. Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975. 280 с.
8. Бирюков В. И., Королев Б. Н., Петров В. А. Определение оптимальной сети предварительной разведки пластообразных месторождений. М., «Недра», 1972. 96 с.
9. Викентьев В. А., Шумилин М. В. Анализ изменчивости геологоразведочных параметров в зависимости от степени разведанности месторождений. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1971, № 7, с. 75—79.
10. Викентьев В. А., Шумилин М. В. Оценка точности коэффициента рудоносности при подсчете запасов. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1971, № 3, с. 83—91.
11. Вольфсон Ф. И., Яковлев П. Д. Структуры рудных полей и месторождений. М., «Недра», 1975. 272 с.
12. Гайдин А. М. Особенности разведки месторождений при отработке их геотехнологическими методами. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 7, с. 32—36.
13. Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — «Советская геология», 1973, № 1, с. 15—33.
14. Иванкин П. Ф. Морфология глубоководных магматогенных рудных полей. М., «Недра», 1970. 288 с.
15. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1969. 408 с. Авт.: В. Д. Бабушкин, Д. И. Пересунько, С. П. Прохоров, Г. Г. Скворцов.
16. Каждан А. Б. Методологические основы разведки месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1974. 272 с.
17. Каждан А. Б., Шумилин М. В., Викентьев В. А. Методические основы количественной оценки разведанности запасов твердых полезных ископаемых. — «Советская геология», 1974, № 11, с. 7—19.

18. Каждан А. Б., Ясковский П. П., Викентьев В. А. Количественная оценка строения и степени разведанности прерывистых рудных залежей. — «Советская геология», 1976, № 1, с. 92—102.
19. Карлье Э. Методика количественной оценки месторождений урана. М., Атомиздат, 1966. 352 с.
20. Кобахидзе Л. П. Экономика геологоразведочных работ. М., «Недра», 1973. 304 с.
21. Коган И. Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М., «Недра», 1974. 304 с.
22. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1969. 384 с.
23. Кузьмин В. И. Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1967. 244 с.
24. Малышев И. И. Разъяснения Государственной Комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР. — «Разведка и охрана недр», 1968, № 9, с. 7—8.
25. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. «Недра», 1974. 264 с.
26. Марголин А. М., Бурдо Л. П. Определение кондиций с учетом технологической освоенности запасов рудных месторождений. — «Советская геология», 1971, № 1, с. 81—93.
27. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., «Мир», 1968. 408 с.
28. Методические указания по фотогеологической документации подземных разведочных выработок рудных месторождений. М., 1971. 48 с. (ЦНИГРИ).
29. Мягков В. Ф. О геометрическом способе корреляции физических полей. «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений». 1971, № 9, уч. записки Перм. ГУ, № 233, с. 131—134.
30. Петров В. А. О выборе сетей для разведки рудных объектов. — «Советская геология», 1975, № 11, с. 104—115.
31. Петров В. А. О применении способов среднего арифметического и среднего взвешенного для расчета средних параметров при подсчете запасов полезных ископаемых. — «Советская геология», 1965, № 2, с. 112—125.
32. Погребницкий Е. О., Терновой В. И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. «Недра», 1974. с. 304.
33. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960. 672 с. Авт.: В. И. Смирнов, А. П. Прокофьев, В. М. Борзунов и др.
34. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Под ред. Е. О. Погребницкого. М., «Недра», 1968. 460 с.
35. Прокофьев А. П. Практические методы подсчета запасов рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1953. 135 с.
36. Разведка штокерковых месторождений цветных и редких металлов. Под ред. В. М. Крейтера. Госгеолтехиздат, 1962. 234 с.
37. Рац М. В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М., «Наука», 1968. 108 с.
38. Сидорков Е. А. Геолого-статистические приемы выделения однородных объемов при исследовании проблемы выдающихся значений разведочных параметров на одном из редкометальных месторождений. — В кн.: Применение математических методов в геологии. Алма-Ата, 1968, с. 273—277.
39. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., «Недра», 1969. 688 с.
40. Смирнов В. И. Подсчет запасов минерального сырья. М., Госгеолтехиздат, 1950. 342 с.
41. Стругов А. Ф. О показателях отраслевой эффективности геологоразведочных работ. — «Изв. вузов, Геология и разведка», 1974, № 9, с. 172—174.
42. Тархов А. Г. Подземная геофизика. М., «Недра», 1973. 312 с.
43. Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Под ред. В. М. Крейтера. М., «Недра», 1968. 432 с.
44. Трофимов А. А. Основы маркшейдерского дела и геометризации недр. М., «Недра», 1970. 364 с.
45. Хрущов Н. А. Актуальные проблемы экономики минерального сырья и геологоразведочных работ. — «Разведка и охрана недр», 1969, № 5, с. 38—43.
46. Хрущов Н. А. Основные принципы разработки оценочных (браковочных) кондиций для рудных месторождений на стадиях поисковых и поисково-разведочных работ. — «Советская геология», 1969, № 6, с. 125—130.
47. Хрущов Н. А. Основные пути повышения экономической эффективности и достоверности геологоразведочных работ. — «Разведка и охрана недр», 1964, № 7, с. 25—29.
48. Хрущов Н. А. Экономические основы расчета кондиций на минеральное сырье. — «Советская геология», 1973, № 2, с. 3—9.
49. Четвериков Л. И. Теоретические основы моделирования тел полезных ископаемых. Воронеж. Изд-во Воронежского ун-та, 1968. 152 с.
50. Шехтман П. А. Применение в методике разведки принципа относительной точности. — «Тр. САИГИМС», 1963, вып. 3, с. 3—92.
51. Шумилин М. В. Эффективность использования взвешенной и арифметической оценок среднего содержания при подсчете запасов. — В кн.: Вопросы рудничной геологии. Ч. II, М., 1970, с. 38—44.

Предметный указатель

- Анизотропия 54, 289, 300
- Балансовые запасы 17
- Блок-диаграмма 149, 164, 167, 268
- Блокировка запасов 223
- Бортовое содержание 199
- Браковочные кондиции 262
- Буровая скважина 60
- Весовая функция 230
- Влажность 227
- Восстающий 60
- Вредные примеси 8, 198
- Выборочная детализация 14
- Гезенк 60
- Геологическая колонка 154
- Геологическая неоднородность 41
- Геологические запасы 17
- Геологический прогноз 36
- Геологическое задание 171
- Геологоразведочные параметры 76, 224
- Геометрия пробы 77
- Геометрия разведочной сети 74, 104
- Горные выработки 58
- Детальная разведка 16, 264
- Дисконтированная прибыль 251
- Документация геологическая 150, 260, 267
- геофизическая 157, 260, 267
- Жила 286
- Жильная зона 287
- Забалансовые запасы 17
- Залежи полезного ископаемого 295
- Залежи прерывистые 295
- Запасы полезного ископаемого 9, 89
- Запасы разведанные 18
- предварительно оцененные 18
- прогнозные 21
- Избирательное выкрашивание 134, 146, 229
- истирание 132, 146, 229
- Извлекаемые запасы 216
- Изменчивость наблюдаемая 53
- неслучайная 52
- природная 55
- пространственная 53
- случайная 52
- Инклинометрия 159
- Интерполяция 218
- Искривления азимутальные 159
- зенитные 159
- Кавернометрия 159
- Канавы магистральные 58
- прослеживающие 58
- Категории запасов 18
- Квершлаг 59
- Классификация запасов 16
- Кондиции 18, 93, 192, 197, 268
- Контроль анализов 147
- обработки проб 147
- пробоотбора 146
- Контур блоковый 223
- внешний 218
- внутренний 218
- сортовой 223
- Коэффициент вариации 137, 231
- вскрыши 206
- корреляции 231
- прерывистости 299
- рудоносности 204, 228, 295
- сложности строения 300
- Крайгинг дискретный 232
- непрерывный 234
- Критерии разведанности 22
- Легенда 151, 261
- Линейный запас 76, 197, 204
- Линейный эквивалент 69
- Локальное обособление 46
- Локальный прогноз 38
- Масштабные уровни 44
- Мера прерывистости 299
- Месторождение 7
- Метро-процент (грамм) 76, 197, 204
- Минерализованная зона 44
- Минеральное зерно 46
- сырье 6
- Минеральный агрегат 46
- Минимальный запас 207
- Минимальное содержание 93, 193
- Модели геолого-математические 22, 79, 81
- Модели горно-геометрические 78
- графические 78
- объемно-макетные 78
- Моделирование 78
- Морфология 102
- Мощность вертикальная 225
- горизонтальная 225
- истинная 225
- стволовая 225
- Намыв 229
- Неоднородность геологическая 42, 51
- статистическая 51
- Обработка пробы 141
- Объемная масса 227
- Объем селекции 209
- Оконтуривание 199, 217
- Опробование рядовое 126
- техническое 126
- технологическое 126
- товарное 127
- ядерно-физическое 137
- Орт 60
- Отбор образцов 153
- Параметры пробоотбора 134
- Планы опробования 164
- Пластовые залежи 279
- Пластоподобные залежи 279
- Плащеподобные залежи 281
- Погрешности анализов 148
- аналогии 77, 224
- геометризации 23, 304
- систематические 71, 146
- случайные 71, 145
- сокращения 147
- Подземная геофизика 63
- Подсчет запасов 262, 268
- Поисково-оценочные работы 15
- Полезный компонент 7
- Поправочные коэффициенты 228
- Поэтапные планы 187
- Предварительная разведка 15, 257
- Представительность пробы 71
- Приведенные затраты 249
- Принцип аналогий 14
- максимальной эффективности 13
- окупаемости 195
- последовательных приближений 15
- Природные уровни строения 47
- Пробы бороздовые 128
- валовые 129
- горстьевые 130
- задирковые 130
- интервальные 129
- линейные 128, 134
- объемные 129
- пленочные 129
- площадные 128
- секционные 129
- точечные 130
- Пробы шпуровые 129
- штуфные 130
- Продуктивная залежь 258
- зона 258
- Продуктивность 216
- Рабочая мощность 204
- Разведка в пределах горного отвода 16, 276
- Разведочная сеть 103
- Разведочное пересечение 73
- Разведочные выработки 57
- линии 74
- разрезы 73
- Разведочные системы 74
- Разведочные скважины 60
- Разрезы опробования 164
- Резистивиметрия 162
- Россыли 282
- Руда 7
- Рудничная геология 270

— геофизика 63, 137, 158
Рудонасыщенность 296

Системный подход 46
Скважинная геофизика 158, 159
Сметная стоимость 187
Сопутствующие компоненты 8, 237
Состав полезного ископаемого 11

Тело полезного ископаемого 45
Текстура полезного ископаемого 43
Технологические пробы 261, 267
— свойства 89, 261, 267

Технологическое картирование 259,
267, 311

Трубообразные залежи 291

Ураганные пробы 234
Уровни строения 44
Условия залегания 90, 101
Условия однородности 51
Условный металл 196
Учет запасов 16

Фотодокументация выработок 152
— скважин 154

Шаг опробования 136
Шахтные стволы 59
Шлиф 95
Шпур 129
Штокверк 292
Штольня 59
Штрек 59
Шурф 58

Эксплуатационная разведка 271
Эксплуатационный блок 215
Экстраполяция неограниченная 218
— ограниченная 218

Элементы неоднородности 41
Эталонные коллекции 153
— участки 109

Этапы геологического задания 189

Ячейка разведочной сети 74

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
§ 1. Геологоразведочные работы и учение о разведке недр	5
§ 2. Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности в недрах	6
§ 3. Требования производства к проведению геологоразведочных работ и основные принципы разведки недр. Стадии геологоразведочных работ	13
§ 4. Основы учета и классификации запасов	16
§ 5. Критерии степени разведанности запасов	22
Раздел первый. Научные и методологические основы разведки недр	24
Глава I. Геологические основы разведки недр	26
§ 1. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых	27
§ 2. Структуры рудных полей и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых	33
§ 3. Особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр	36
§ 4. Состав полезных ископаемых, зональность месторождений и рудных тел	39
Глава II. Неоднородность природных минеральных образований и изменчивость их свойств	41
§ 1. Неоднородность строения минерализованных участков недр и масштабы ее проявления	42
§ 2. Системный подход к изучению неоднородности	46
§ 3. Изменчивость свойств полезных ископаемых в недрах	52
Глава III. Методология изучения недр	56
§ 1. Технические средства разведки и их разведочные возможности	57
§ 2. Теоретические основы опробования	66
§ 3. Системы разведки и принципы систематизации разведочных данных	73
§ 4. Моделирование месторождений и свойств полезных ископаемых в недрах	79
Глава IV. Горно-технологическая оценка объектов разведки	88
§ 1. Зависимость представлений о масштабах и ценности природных минеральных образований от требований производства	89
§ 2. Влияние условий горной технологии на представления о свойствах полезных ископаемых и об их изменчивости в недрах	91
§ 3. Геолого-промышленная модель строения полезного ископаемого	92
Раздел второй. Производство геологоразведочных работ	99
Глава V. Оптимизация условий геологоразведочных работ	99
§ 1. Выбор технических средств и системы разведочных работ	100
§ 2. Принципы оптимизации разведочной сети	103
§ 3. Оптимизация разведочной сети при проектировании разведочных работ	105
§ 4. Оптимизация разведочной сети в процессе разведочных работ	107
§ 5. Оценка оптимальности сети после завершения разведочных работ	119

Глава VI. Опробование	Стр. 125
§ 1. Способы отбора проб в разведочных горных выработках	128
§ 2. Способы отбора проб в разведочных скважинах	131
§ 3. Факторы, определяющие выбор способа отбора проб и важнейшие параметры пробоотбора	134
§ 4. Ядерно-геофизические методы опробования	137
§ 5. Обработка и анализы проб	141
§ 6. Контроль процесса опробования	145
Глава VII. Изучение месторождений в процессе геологоразведочных работ	149
§ 1. Топогеодезические и маркшейдерские работы	149
§ 2. Геологическое изучение горных разведочных выработок	150
§ 3. Геологическое изучение разведочных скважин	154
§ 4. Минералого-геохимические исследования	155
§ 5. Геофизические исследования в горных выработках и скважинах	157
§ 6. Изучение технологических свойств минерального сырья	159
§ 7. Изучение горно-геологических условий эксплуатации месторождений	161
§ 8. Обобщение первичных материалов и составление сводных документов	164
Глава VIII. Проектирование и организация геологоразведочных работ	167
§ 1. Управление геологоразведочными работами	168
§ 2. Планирование геологоразведочных работ	170
§ 3. Проектирование геологоразведочных работ	171
§ 4. Организация геологоразведочных работ	187
Раздел третий. Геолого-экономическая оценка месторождений	191
Глава IX. Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых	192
§ 1. Минимальное промышленное содержание и дополнительные показатели кондиций	193
§ 2. Кондиции к качеству и технологическим свойствам минерального сырья	198
§ 3. Кондиции к оконтуриванию полезных ископаемых	199
§ 4. Горно-технологические кондиции разработки месторождения	206
§ 5. Методика определения кондиций	208
Глава X. Подсчет запасов полезных ископаемых	211
§ 1. Способы подсчета запасов	212
§ 2. Оконтуривание и блокировка запасов	217
§ 3. Вычисление средних значений геологоразведочных параметров	224
§ 4. Распространение содержаний полезных компонентов по разведочным пересечениям на прилегающие к ним объемы недр	230
§ 5. Подсчет запасов сопутствующих компонентов	237
§ 6. Подсчет запасов с использованием ЭВМ	242
§ 7. Достоверность подсчета запасов и степень их разведанности	244
Глава XI. Оценка экономической эффективности использования месторождения и эффективности геологоразведочных работ	246
§ 1. Факторы и показатели оценки	247
§ 2. Недостатки существующей методики оценки и возможные пути ее совершенствования	250
§ 3. Экономическая эффективность геологоразведочных работ	253
Раздел четвертый. Разведка месторождений на разных стадиях изучения недр, различных типов и видов полезных ископаемых	257
Глава XII. Предпроектные стадии геологоразведочных работ	257
§ 1. Предварительная разведка	257
§ 2. Детальная разведка	264

Глава XIII. Разведочные работы в условиях действующего горного предприятия	Стр. 270
§ 1. Эксплуатационная разведка	271
§ 2. Разведка в пределах горного отвода	276
Глава XIV. Разведка месторождений различных морфогенетических типов	278
§ 1. Разведка пластообразных месторождений	279
§ 2. Разведка плащеподобных и россыпных месторождений	281
§ 3. Разведка жильных и жилообразных месторождений	286
§ 4. Разведка трубообразных месторождений	291
§ 5. Разведка штокверковых и штокверкоподобных месторождений	292
Глава XV. Разведка залежей прерывистого строения	294
§ 1. Особенности проявления и группировка прерывистых залежей	295
§ 2. Особенности разведки прерывистых залежей	297
§ 3. Количественное описание степени прерывистости залежей	298
§ 4. Принципы оконтуривания прерывистых залежей	301
§ 5. Оценка степени разведанности прерывистых залежей	304
Глава XVI. Разведка месторождений различных видов полезных ископаемых	306
§ 1. Особенности разведки, обусловленные составом или свойствами полезного ископаемого в недрах	307
§ 2. Особенности разведки, связанные с условиями использования минерального сырья в промышленности	308
§ 3. Особенности разведки, обусловленные спецификой технологии разработки месторождений	312
§ 4. Особенности разведки, обусловленные исключительно высокой или весьма низкой ценностью полезного ископаемого	314
§ 5. Особенности разведки жидких и газообразных полезных ископаемых	315
Список литературы	319
Предметный указатель	322