



Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова
Геологический факультет

В.В. Авдонин
Г.В. Ручкин
Н.Н. Шатагин
Т.М. Лыгина
М.Е. Мельников

Учебник
для вузов

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Под ред. В.В. Авдонина

*Допущено УМО по классическому университетскому
образованию в качестве учебника для студентов,
обучающихся по направлению 020300 «Геология»*

Москва
Фонд «Мир»
2007

Москва
Академический Проект
2007

УДК 553; 622
ББК 26.34; 33
А18

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова
Геологический факультет

Авдонин В.В.

А18 **Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / В.В. Авдонин, Г.В. Ручкин, Н.Н. Шатагин, Т.И. Лыгина, М.Е. Мельников; Под ред. В.В. Авдонина. — М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2007. — 540 с. — (Gaudeamus).**

ISBN 978-5-8291-0932-5 (Академический Проект)
ISBN 978-5-902357-74-2 (Фонд «Мир»)

В учебнике рассматривается весь комплекс проблем, связанных с поисками и разведкой месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Это современный оригинальный учебник нового поколения. В нем отражены все новейшие достижения в области поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. По структуре и полноте изложения материала он полностью соответствует программам курсов поисков и разведки месторождений, изучаемых на геологических факультетах университетов и в геологоразведочных вузах. В отечественной литературе это первый за последние годы учебник, в котором, с одной стороны, сохранены основные достижения и традиции учения о поисках и разведке, а с другой — содержатся новейшие, оригинальные материалы, которые ранее в учебной литературе не рассматривались. Это касается в первую очередь изложения современных методик обработки разведочных данных с применением компьютерных технологий — построения трехмерных моделей месторождений и работе с ними, а также методикам поисков и разведки наиболее перспективных типов полезных ископаемых океанского дна.

Для студентов, аспирантов, преподавателей, а также специалистов, занимающихся поисками и разведкой месторождений.

УДК 553; 622
ББК 26.34; 33

© Авдонин В.В., Ручкин Г.В.,
Шатагин Н.Н., Лыгина Т.И.,
Мельников М.Е., 2007
© Оригинал-макет, оформление.
Академический Проект, 2007
© Фонд «Мир», 2007

ISBN 978-5-8291-0932-5
ISBN 978-5-902357-74-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник составлен для студентов геологических специальностей, изучающих геолого-промышленные типы месторождений твердых полезных ископаемых, поиски, разведку и оценку этих объектов. Содержание учебника соответствует программам курсов: «Поиски полезных ископаемых», «Разведка месторождений твердых полезных ископаемых», «Методика опробования, разведок и подсчета запасов».

Основное внимание уделяется освещению вопросов поисков и разведок рудных месторождений, в меньшей степени затрагиваются неметаллические полезные ископаемые. Поиски и разведка горючих ископаемых не рассматриваются в силу специфики этих проблем. В основу учебника положены курсы лекций, которые в течение многих лет читаются представителями авторского коллектива на геологическом факультете Московского государственного университета.

В учебнике принята традиционная последовательность изложения материала. Сначала приводятся общие сведения о геолого-промышленных типах месторождений. Затем даются теоретические основы, методические разработки и практические рекомендации по организации поисковых работ. Далее излагаются основы разведки, опробования месторождений. Приводятся общие сведения о классификации запасов, рассматриваются ведущие показатели кондиций. Излагаются основы классических методов подсчета запасов, кратко охарактеризованы принципы геолого-экономической оценки месторождений.

Наряду с этим значительное внимание уделено современным методикам обработки разведочных данных с использованием компьютерных технологий — построению моделей и работе с ними, геостатистическим методам подсчета запасов.

Учитывая современные тенденции развития минерально-сырьевой базы и успехи в изучении полезных ископаемых Мирового океана, авторы сочли необходимым включить в учебник разделы, посвященные методикам поисков и разведки наиболее перспектив-

ных типов полезных ископаемых океанского дна — оксидных железомарганцевых руд.

Учебник состоит из 10 глав. Глава 1 «Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых» написана В.В. Авдониным и Г.В. Ручкиным; глава 2 «Поиски полезных ископаемых» — Г.В. Ручкиным; главы 3 «Разведка месторождений полезных ископаемых», 4 «Опробование», 5 «Основы классификации запасов», 6 «Требования промышленности к минеральному сырью (кондиции)», 7 «Подсчет запасов», 8 «Геолого-экономическая оценка месторождений» — В.В. Авдониным; глава 9 «Компьютерное моделирование месторождений и геостатистика» — Н.Н. Шатагиным; глава 10 «Поиски и разведка месторождений океанических железомарганцевых руд» — Т.И. Лыгиной («Железомарганцевые конкреции абиссальных котловин») и М.Е. Мельниковым («Кобальтоносные железомарганцевые корки подводных поднятий»).

При изложении материала авторы стремились следовать традициям классической российской геологоразведочной школы, созданной трудами В.М. Крейтера, В.И. Смирнова, А.Б. Каждана и др.

Освоение минеральных ресурсов является основой хозяйственной деятельности человека. Потребление минерального сырья неуклонно растет, разнообразие используемых видов сырья постоянно увеличивается.

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых всегда были и будут главнейшими задачами, стоящими перед геологической службой. Значение геологоразведочных работ постоянно увеличивается в связи с тем, что они призваны обеспечить ресурсами и запасами не только действующие горнодобывающие отрасли промышленности, но и оперативно решать проблемы освоения новых видов полезных ископаемых. Поэтому, несмотря на известный консерватизм геологоразведочной отрасли, происходит постоянное совершенствование теории и методов поисков и разведок месторождений полезных ископаемых.

Научные основы поисков и разведок месторождений полезных ископаемых созданы трудами нескольких поколений отечественных геологов, среди которых в первую очередь необходимо назвать Г.Д. Ажгирея, Я.Н. Белевцева, А.Г. Бетехтина, Ю.А. Билибина, П.П. Бурова, А.Б. Каждана, В.М. Крейтера, В.А. Обручева, А.П. Прокофьева, В.И. Смирнова, С.С. Смирнова, А.А. Якжина и многих других.

В свое время многие из них составили замечательные учебники и методические руководства по поискам и разведкам, не утратившие значения и в настоящее время. Тем не менее в последние годы произошли существенные изменения в самой структуре минерально-сырьевой базы, оценке перспектив использования природных ресурсов, методов их вовлечения в промышленное использование.

В геологоразведочной отрасли можно отметить как минимум три направления, в которых произошли наиболее значимые изменения.

Во-первых, это усовершенствование теории и методики поисковых работ.

Во-вторых, широкое внедрение компьютерных технологий во все направления геологоразведочного про-

цесса, что привело к качественным изменениям методики подсчета запасов и оценки месторождений на всех стадиях их освоения.

Наконец, необходимо отметить еще одно важное обстоятельство. Современная экономика характеризуется неуклонно возрастающей потребностью в различных видах минерального сырья. При этом отчетливо проявляется тенденция сокращения минерально-сырьевой базы, снижение открываемости новых месторождений, необходимость вовлечения в промышленное производство неблагоприятных по геологической позиции месторождений, руд более низкого качества. Эти причины стимулируют повышенный интерес к минерально-сырьевому потенциалу Мирового океана. В связи с интенсификацией научно-исследовательских и поисково-разведочных работ в океане в последние годы сложилась качественно новая ситуация — проблема освоения минерально-сырьевых ресурсов океана перешла в плоскость практических решений. Последние годы ознаменовались интенсивными усилиями по разработке теоретических основ, методики и технических средств морских геологоразведочных работ. Большой вклад в эти исследования внесен российскими организациями и службами, в частности НПО «Южморгеология».

Авторский коллектив постарался отразить в учебнике все важнейшие достижения в области поисков и разведки месторождений, характеризующие современное состояние науки.

Глава 1

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. Общие сведения о геолого-промышленных типах

В современной практике поисковых и разведочных работ существенное значение имеют рудно-формационные и геолого-промышленные классификации месторождений.

Рудные формации — группы месторождений и рудопроявлений, однотипные по элементному и минеральному составу руд и геологической обстановке нахождения, которая определяется принадлежностью к конкретной геологической формации (либо сочетанию геологических формаций) и структурными условиями накопления рудного вещества.

Рудно-формационные классификации учитывают многообразие геологических обстановок месторождений, определяемое различием геотектонических позиций месторождений и отвечающих этим обстановкам закономерным сообществам горных пород и руд, что определяет специфику поисковых критериев и признаков. Они отвечают целям поисков.

Среди многообразия природных типов месторождений лишь сравнительно небольшая часть играет существенную роль в экономике. Основная масса минерального сырья в мире добывается из весьма ограниченного числа природных типов. Под геолого-промышленными типами месторождений полезных ископаемых понимаются такие, которые зарекомен-

довали себя как основные поставщики данного вида минерального сырья для промышленности. Далеко не все рудные формации могут иметь промышленное значение и включать геолого-промышленные типы месторождений. Принято считать, что к основным мировым геолого-промышленным типам следует относить такие, на долю которых приходится не менее 1 % мировой добычи. Значение отдельных геолого-промышленных типов месторождений в сырьевой базе тех или иных полезных ископаемых разное, в связи с чем среди них выделяются главные, на которые приходится выше 5–10 % запасов (или добычи) соответствующего полезного ископаемого, и второстепенные — обычно менее 2–2,5 %. При этом нужно иметь в виду, что в минерально-сырьевой базе отдельных государств ведущими геолого-промышленными типами могут служить такие, которые в мировом балансе запасов и добычи существенной роли не играют, и наоборот. Например, если в мировой минерально-сырьевой базе на долю стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных формациях приходится 15,6 % запасов свинца и 17 % цинка, то в России только около 2,5 % запасов как свинца, так и цинка.

По В.И. Смирнову, при классификации промышленных типов рудных месторождений следует принимать во внимание четыре основных признака: 1) генетический класс; 2) структуру месторождения, определяющую участки локализации рудных тел и их морфологию; 3) минералогический состав руды и 4) состав вмещающих пород. Подобный подход используется и при типизации других классов месторождений.

Классификация геолого-промышленных типов месторождений базируется также на требованиях промышленности к минеральному сырью и результатам собственно разведочных работ. Поэтому рудно-формационные и геолого-промышленные типы месторождений могут не совпадать друг с другом. Если рудно-формационные типы отвечают целям поисков месторождений, то геолого-промышленные типы имеют огромное значение при проведении поисковых и особенно поисково-оценочных и разведочных работ.

Роль всех геолого-промышленных типов с течением времени меняется. Одни из них утрачивают свое значение основных поставщиков минерального сырья в связи с полной отработкой, как это случилось с железорудными месторождениями типа «железных шляп» — зонами окисления колчеданных месторождений Урала. С отработкой этих зон перестал существовать еще один промышленный тип — месторождения малахита, которыми славился Урал.

На смену исчезающим появляются новые промышленные типы. Одни возникают за счет открытия новых месторождений — так, например, сравнительно недавно появился новый тип золоторудных месторождений — карлинский — в черносланцевых толщах. Другие геолого-промышленные типы появляются в связи с совершенствованием технологии переработки руд, открывающей возможности использования новых видов сырья. Это в первую очередь относится к месторождениям редких и рассеянных элементов. Расширение комплекса извлекаемых попутных компонентов также приводит к появлению новых типов.

Важным фактором, способствующим становлению новых геолого-промышленных типов, является совершенствование горной техники, позволяющее снижать требования к сырью и вовлекать в промышленность более бедные руды. Наглядным примером этого явления служат медно-порфировые месторождения, обладающие грандиозными запасами меди, но характеризующиеся низкими содержаниями металла. Их промышленное освоение стало возможным с развитием мощной техники открытых разработок и совершенствованием обогатительных процессов.

Постоянный рост потребления металлов, истощение сырьевых ресурсов способствует поиску новых источников сырья. Постепенно возникают возможности освоения ранее недоступных месторождений, к числу которых относятся в первую очередь объекты, расположенные на дне Мирового океана. Так, определяются перспективные геолого-промышленные типы, вовлечение которых в промышленное производство технически возможно и ожидается в обозримом будущем. К их числу в настоящее время можно отнести

металлоносные осадки Красноморского рифта, железомарганцевые конкреции абиссальных котловин (провинция Клариион-Клиппертон), кобальтоносные железомарганцевые корки подводных поднятий (Магеллановы горы), месторождения фосфора на шельфе и подводных горах, залежи газогидратов. Возможно, когда-то возникнет необходимость добычи руд массивных сульфидов со дна океана.

Возвращаясь к общей характеристике понятия геолого-промышленных типов, необходимо отметить еще одно важное обстоятельство. Тот факт, что обнаруженное или изучаемое месторождение относится к известному промышленному типу, вовсе не гарантирует его промышленной значимости. Каждый промышленный тип может быть представлен различными по масштабу объектами — от уникальных по запасам месторождений до незначительных рудопроявлений.

Несмотря на общность генетических процессов, приводящих к образованию месторождений одного геолого-промышленного типа, каждое из них характеризуется множеством индивидуальных особенностей. При промышленной оценке месторождений в первую очередь принимаются во внимание следующие показатели: размеры месторождения (запасы минерального сырья), степень и характер концентрации запасов (количество, размеры, форма залежей), положение рудных тел и условия залегания, качество сырья, его технические и технологические свойства, горнотехнические условия вскрытия и эксплуатация месторождения.

Ниже приводится обзор главнейших геолого-промышленных типов месторождений различных групп.

1.2. Геолого-промышленные типы месторождений металлических железных ископаемых

Металлические (рудные) месторождения подразделяются на следующие группы.

1. Месторождения руд черных металлов.
2. Месторождения руд цветных металлов.
3. Месторождения руд редких, рассеянных и редкоземельных металлов.

4. Месторождения благородных металлов.
5. Месторождения радиоактивных металлов.

Ниже дается краткая характеристика основных геолого-промышленных типов рудных месторождений. Более подробно вопрос рассматривается в специальных курсах (Авдонин и др., 2005).

Месторождения руд черных металлов

В группу черных металлов объединены железо, марганец, хром, титан, ванадий. Ведущую роль в этой группе играет железо, составляющее основу черной металлургии; остальные используются также в основном (почти на 90 %) для производства легированных сталей; исключением является титан, 85 % которого идет на изготовление пигментного диоксида.

Железо. Ежегодное производство товарных железных руд превышает 1 млрд т. В недрах 95 стран общие запасы железных руд оцениваются в 300 млрд т. Наибольшими запасами обладают Россия, Австралия, Китай, Бразилия, Украина и США (от 50 до 15 млрд т). Добыча осуществляется в 55 странах. По уровню запасов выделяют месторождения (млн т руды): мелкие — до 50, средние — 50 — 300, крупные — 300 — 1000, весьма крупные — 1000 — 3000 и реже — уникальные — более 3000. По оценке Н. Голивкина и др. (1998), в мире известно около 1200 месторождений железных руд, однако основная часть (более 79 %) подтвержденных запасов сосредоточена в 126 крупных, весьма крупных и уникальных месторождениях, рудных районах и бассейнах 33 стран, в том числе на 42 месторождениях России. На их долю в России приходится 90 % запасов категорий А + В + С₁.

Главнейшие минералы железных руд: магнетит, мартит и гематит, гетит и гидрогетит, а также сидерит, шамозит, тюрингит. Содержание железа в рудах должно быть не менее 20 % (богатыми считаются руды с содержанием железа более 57 %); вредных примесей: серы — не более 0,3; фосфора — 0,2; цинка, свинца, мышьяка и меди — 0,1 %.

Основными геолого-промышленными типами являются: а) железистые кварциты и связанные с ними

богатые железные руды; б) осадочные пластовые месторождения; в) титаномагнетитовые в основных и ультраосновных породах; г) скарново-магнетитовые. В этих типах сосредоточено 99,7 % общих запасов, они обеспечивают 94 % мировой добычи. Кроме того, железные руды добываются из карбонатитовых, вулканогенно-осадочных месторождений и месторождений кор выветривания.

Месторождения железистых кварцитов содержат подавляющую часть (76 %) мировых ресурсов железных руд. Они связаны с докембрийскими метаморфическими железисто-кремнистыми формациями и распространены на всех щитах древних платформ. Согласные, многоярусные залежи пластовых тонкопослабчатых руд простого минерального состава (магнетит, гематит) концентрируются в крупных и уникальных месторождениях в пределах гигантских железорудных бассейнов. К этому типу относятся российские месторождения КМА, Кольского полуострова и Карелии, Южной Якутии, Малого Хингана и др. Структура бассейна Курской магнитной аномалии определяется крупными синклиноральными зонами, протягивающимися более чем на 550 км при ширине полос 250–1000 м, с которыми связаны месторождения Михайловское, Лебединское, Яковлевское и др. Железистые кварциты представляют собой полосчатые руды с ритмичным чередованием существенно рудных и кварцевых полосок мощностью от 2 до 10 мм при содержании железа от 25 до 45 % и отсутствии вредных примесей.

С железистыми кварцитами связаны месторождения богатых мартитовых и гематит-мартитовых руд в площадных и линейных корях выветривания первичных железистых кварцитов. Содержание железа в рудах от 52 до 69 %, при ничтожном содержании вредных примесей.

Осадочные пластовые месторождения бурых железняков приурочены к терригенным и карбонатным формациям — морским геосинклинальным и платформенным, а также континентальным озерно-болотным, речным и т. д. Рудные тела сложены хемогенно-осадочными оолитовыми преимущественно бурожелезняковыми рудами. Месторождения формировались в ши-

роком возрастном диапазоне. Нередко они достигают громадных размеров: в Керченском бассейне (Украина) запасы составляют 2 млрд т, в Аятском (Казахстан) — свыше 8 млрд т, в Клинтонских месторождениях (США) — 14,3 млрд т. На долю осадочных месторождений приходится 14,8 % мировых запасов и около 15 % добычи железных руд.

Рудные тела залегают в виде устойчивых протяженных (иногда до 100 км) пластов мощностью от 0,5 до 30 м, одиночных или образующих пачки, в которых насчитывается иногда до десятка пластов. Содержание железа — от 20 до 50 %, в рудах заметны примеси фосфора, мышьяка, марганца. Руды сложены оолитами гидрогетитового, гетитового, лептохлоритового или сидеритового состава с примесью обломочного песчано-глинистого материала. Месторождения обычно доступны для открытых разработок.

Магматические титаномагнетитовые месторождения связаны с интрузивами основного и ультраосновного состава, относящимися к: а) дунит-пироксенит-габбровой формации (качканарский тип); б) формации автономных анортозитов (месторождения Канады); в) платформенной формации ультрабазит-базитовых расслоенных интрузивов (бушвельдский тип); г) габбровым формациям складчатых областей. По тектонической приуроченности выделяются рудоносные формации докембрийских платформ, позднепротерозойских и фанерозойских складчатых областей и зон активизации древних платформ.

В магматических месторождениях заключено 5,5 % мировых запасов железных руд, они обеспечивают 6 % добычи. В некоторых месторождениях запасы руды превышают 1 млрд т.

Формирование рудных тел связано с процессами расслоения магматических масс. Основной рудный минерал титаномагнетит со структурами распада твердого раствора — это магнетит с тонкопластинчатыми вростками ильменита. Содержание железа — от 17 % во вкрапленных рудах до 48–58 % в массивных. Помимо железа в рудах в промышленных количествах содержатся титан (от 0,8–2 % до 12–14 % TiO_2), ванадий (0,1–0,5 % V_2O_5), платиноиды. Наиболее яркими пред-

ставителями этой группы являются Качканарское, Гусевогорское на Урале и Чинейское в Восточной Сибири месторождения. Суммарные запасы руды превышают 6 млрд т, в них содержится едва ли не половина мировых запасов ванадия.

К числу крупнейших относятся месторождения Бушвельдского массива (ЮАР), Аллард-Лейк (Канада), Сэндфорд-Лейк (США), Отанмяки (Финляндия) и др.

Скарново-магнетитовые месторождения связаны с гранитоидами повышенной основности (плагиигранитами) и размещаются в складчатых областях различного возраста. Рудные тела располагаются среди скарнов — контактово-метасоматических образований известково-силикатного состава, состоящих из гранатов, пироксенов, амфиболов, волластонита, эпидота, скаполита и др. Скарны подразделяются на известковистые, магнезиальные и силикатные. Рудные тела имеют пластообразную, столбообразную, неправильную форму и сложены богатыми магнетитовыми и сульфидно-магнетитовыми рудами. Масштаб месторождений средний и крупный. В скарновых месторождениях заключено 3,4 % мировых запасов железа, и они дают около 3 % добычи. В России доля этих месторождений более значительна — почти 15 % запасов и более 19 % добычи. Наибольшей известностью пользуются месторождения Магнитогорское, Гороблагодатское, Высокогорское (Урал, Россия), Сарбайское, Соколовское (Казахстан), Дашкесанское (Азербайджан), Айрон-Спрингс (США) и др.

Марганец — важнейший металл черной металлургии, чрезвычайно дефицитный для России. Общие мировые запасы марганцевых руд в 56 странах составляют 15 млрд т, в том числе в ЮАР — 9 млрд т, на Украине — 2,5 млрд т. Добыча марганцевой руды в 26 странах превышает 20 млн т в год, более половины добывается в ЮАР, на Украине, в Китае.

К уникальным относятся месторождения с запасами более 1 млрд т, к крупным — сотни млн т, к средним и мелким — десятки млн т. В промышленности используются два типа руд. Окисные руды (пиролюзит, марганит, псиломелан, браунит и др.) осадочного происхождения, оолитового и конкреционного сложения

содержат Mn 30–45 %, SiO₂ — 10–18 %, фосфора не более 0,2 %. Вторичные окисные руды, образующиеся в процессе выветривания, по составу и свойствам близки первичным. Карбонатные руды менее ценные; они сложены родохрозитом, манганокальцитом; характеризуются низким содержанием марганца (10–25 %) и повышенным — кремнезема и фосфора. Выделяются еще силикатно-карбонатные руды, образованные в результате метаморфизма осадочных окисных и карбонатных руд. В их состав входят родонит, бустамит, родохрозит и др. Руды не поддаются обогащению и в промышленности не используются.

Основными геолого-промышленными типами марганцевых месторождений являются: 1) осадочные морские, 2) вулканогенно-осадочные, 3) месторождения выветривания. Кроме того, перспективным типом, освоение которого возможно в ближайшем будущем, являются железомарганцевые конкреции абиссальных котловин Мирового океана. Крупные скопления метаморфогенных руд представляют интерес лишь в том случае, если они подвергались выветриванию.

Морские осадочные месторождения содержат 75 % мировых ресурсов марганцевых руд. К этому типу относятся уникальные и крупные олигоценные месторождения: Никопольское, Большетокмакское (Украина), Чиатурское (Грузия), меловое Грут-Айленд (Австралия).

Пластовые и линзообразные рудные тела Никопольского бассейна средней мощностью 2–4 м прослеживаются в виде широкой (до 2,5 км) прерывистой полосы на 250 км. Окисные и карбонатные руды часто имеют конкреционное строение. Рудоносная кварц-глауконитовая песчано-глинистая формация сложена глинами, глауконитовым песком, известняками и др. Марганцевые руды являются седиментационно-диагенетическими образованиями. На всех месторождениях отчетливо выражена фациальная зональность: в прибрежных условиях накапливались окисные руды, в более глубоководных — карбонаты.

Вулканогенно-осадочные месторождения связаны с вулканогенно-кремнистыми и доломито-известняковыми комплексами базальтоидных формаций. Это пре-

имущественно палеозойские месторождения оксидных и карбонатных руд незначительные по масштабу. Некоторые из них характеризуются комплексным составом руд: железо, марганец, свинец, цинк, барий (Атасуйские месторождения, Казахстан).

Месторождения выветривания образуются по марганецсодержащим метаморфизованным силикатным и карбонатным породам в условиях тропического климата. В этих месторождениях сосредоточено более трети мировых запасов марганца. Марганценозные коры выветривания сложены песчано-глинистыми породами со скоплениями оксидных руд (пиролозит, псиломелан, манганит и др.). Содержание марганца — 44–48 %, железа — 4,4 %, кремнезема — 7–13 %, глинозема — 3,2 %, фосфора — 0,17 %. Крупнейшим месторождением этого типа является Постмасбург (ЮАР). Крупные месторождения известны в Бразилии (штат Минас-Жерайс), Западной Африке, Индии.

Хром. Основной потребитель хромитовых руд — черная металлургия, около 10 % используется для изготовления огнеупоров, 5 % — в химической промышленности. Подтвержденные запасы в 300 месторождениях 32 стран составляют 2,6 млрд т хромитов; 83 % запасов сосредоточено в ЮАР, 7 % — в Казахстане, 3 % — в Зимбабве. Ежегодное производство товарной руды — около 15 млн т. Уникальные месторождения обладают запасами в сотни млн т; крупные и средние — в десятки млн т, мелкие — единицы. Руды сложены хромитами — хромшпинелидами переменного состава. К промышленным рудам относятся сплошные и густовкрапленные хромиты с высоким содержанием Cr_2O_3 и благоприятным отношением Cr_2O_3/FeO . Выделяются три типа руд. Наиболее высококачественные — металлургические руды, используемые для производства феррохрома, содержат 50–52 % Cr_2O_3 и имеют отношение $Cr_2O_3/FeO > 2,5$. Химический тип руд — среднехромистый с повышенной глиноземистостью — содержит более 36 % Cr_2O_3 и Fe_2O_3 — не более 14–16 %. Огнеупорные хромитовые руды должны содержать Cr_2O_3 32–33 % и иметь отношение $Cr_2O_3/FeO < 2,5$.

Материнской для промышленного хромитового оруденения является только дунит-гарцбургитовая

группа формаций, при этом хромиты локализуются в максимально насыщенных оливином дунитах. Выделяются три геолого-промышленных типа месторождений: 1) раннемагматические; 2) позднемагматические; 3) россыпные (промышленное значение их не существенно).

Раннемагматические месторождения представлены пластообразными телами хромитовых руд в стратифицированных массивах ультраосновных пород, сформированных в областях активизации платформ. Это ведущий тип хромитовых месторождений, на его долю приходится почти 82 % мировых запасов. Классическим примером служит Бушвельдский массив (ЮАР) — грандиозный лополит размером 460×250 км. В массиве снизу вверх выделены: зона закалки (350 м, нориты); базальная зона (1500 м, нориты, перемежающиеся с перидотитами); критическая зона (1000 м, нориты с прослоями пироксенитов и анортозитов); главная зона (3500 м, габбро-нориты); верхняя зона (200 м, габбро-диориты). Хромитовые руды сосредоточены в пироксенитах и анортозитах критической зоны.

Руды образуют параллельные пластообразные залежи мощностью от 0,2 до 1,8 м. Число таких пластов достигает 25. Они прослеживаются на десятки километров при очень устойчивой мощности. Хромиты нижних пластов характеризуются более высоким качеством.

Подобное строение имеют месторождения комплекса Великой Дайки в Зимбабве, руды которых относятся к металлургическому типу.

Позднемагматические месторождения локализованы в ультраосновных массивах складчатых поясов. Месторождения связаны с дунит-гарцбургитовыми массивами офиолитовых серий. В груборасслоенных хромитоносных массивах рудные тела имеют форму уплощенных линз, а также жилообразных, гнездообразных тел. Наиболее крупные месторождения этого типа расположены в пределах Кемпирсайского массива (Южный Урал, Казахстан). Размеры рудных тел достигают 1,5–2 км по простиранию, при мощности от 25 до 180 м. В некоторых месторождениях количество рудных тел исчисляется десятками. Этот тип характеризуется наиболее высокосортными хромитовыми рудами.

Титан благодаря своим уникальным свойствам используется в космической, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности, а большая его часть идет для производства титановых белил.

Подтвержденные запасы TiO_2 в 20 странах оцениваются в 740 млн т (3/4 ильменита, 1/4 рутила). Около 60 % запасов сосредоточено на Украине, в Бразилии, ЮАР, Австралии. Производство титановых концентратов составляет более 8 млн т. Уникальные коренные месторождения обладают запасами более 50 млн т, крупные — от 30 до 50, средние — от 10 до 30, мелкие — менее 10 млн т TiO_2 . Для россыпных месторождений порядок цифр вдвое меньше. Промышленное извлечение титана производится из ильменита и рутила. Промышленными месторождениями считаются те, которые содержат в рудах более 10 % TiO_2 в коренных месторождениях и более 10 % ильменита или 1,5 % рутила — в россыпях. Вредные примеси в металлургическом сырье — сера и фосфор, для производства белил — хром.

Среди месторождений выделены три основных геолого-промышленных типа: 1) древние и современные речные и прибрежно-морские россыпи; 2) магматические в габбро-анортозитовых массивах; 3) месторождения коры выветривания.

Россыпные месторождения являются ведущим промышленным типом, в них заключено 52 % запасов. Основное значение имеют прибрежно-морские комплексные ильменит-рутил-цирконовые россыпи — они обладают большими размерами (протяженность — несколько десятков километров при ширине до километра). Промышленное содержание ильменита и рутила — от десятков до сотен килограммов на кубический метр. Эти россыпи развиты в Зап. Австралии, Индии, Шри-Ланке и др. Континентальные россыпи обладают менее крупными размерами.

Одним из самых необычных месторождений является Ярегское (Ю. Тиман), содержащее 49 % российских запасов титана. Это погребенная прибрежно-морская россыпь девонского возраста. Рудный минерал — лейкоксен. Содержание TiO_2 в рудном теле — от 8 до 20 %. Освоение месторождения осложнено тем,

что пески насыщены тяжелой нефтью, которая также имеет промышленное значение.

Магматические месторождения представлены позднематематическими рудами ильменит-магнетитового, ильменит-гематитового и ильменит-рутилового состава. Рудные тела в габбро-анортозитовых массивах имеют размеры в плане от 50×100 м до 1 км^2 , мощность их достигает 90 м. Богатые руды сложены ильменитом (75 %) и гематитом (25 %), содержание TiO_2 достигает 32–36 %. В магматических месторождениях содержится более 32 % запасов титана. Примеры месторождений: Мало-Тогульское (Вост. Саян, Россия), Лак-Тио (Канада).

Месторождения выветривания образуются на габбро-анортозитовых массивах и метаморфических породах. Наиболее крупные и богатые месторождения анатаз-перовскит-рутиловых руд приурочены к корам выветривания карбонатитовых массивов. В этих месторождениях заключено почти 16 % запасов титана. Одно из наиболее крупных — месторождение анатаза Тапира (Бразилия) — обладает запасами в 600 млн т TiO_2 .

Месторождения руд цветных металлов

К цветным металлам отнесены те, которые определяют основной круг деятельности цветной металлургии: алюминий, магний, никель, кобальт, медь, свинец и цинк, олово, вольфрам, молибден, висмут, сурьма, ртуть.

Алюминий — один из важнейших конструкционных материалов. Благодаря своей легкости, механической прочности, высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости он нашел широкое применение в авиационной, автомобильной, электротехнической промышленности, других отраслях современной техники и в быту. По объему производства и потребления в мире он занимает второе место среди металлов после железа.

Сырьем для производства алюминия является глинозем, который получают из бокситов, нефелиновых руд и других высокоглиноземистых пород. Основная алюминиевая руда, обеспечивающая 98 % мирового производства глинозема, — бокситы. Россия является

единственной страной в мире, где используется такое низкокачественное алюминиевое сырье, как нефелиновые руды.

Общие запасы бокситов в 29 странах мира превышают 40 млрд т, 95 % из них сосредоточено в тропическом поясе, в том числе более 50 % приходится на Гвинею, 40 — на Австралию, Венесуэлу, Бразилию, Индию, Вьетнам и Ямайку. Добывают бокситы в 24 странах в количестве 140 млн т в год, 80 % добычи приходится на Австралию, Гвинею, Ямайку, Бразилию, Китай и Индию. Ежегодное производство глинозема в странах, добывающих бокситы, превысило 52 млн т, а выплавка первичного алюминия — 24,5 млн т. За последние годы производство алюминия возросло более чем в 10 раз.

Уникальными считаются месторождения бокситов с запасами более 500 млн т, крупными и средними — 500 — 50, мелкими — менее 50 млн т.

Содержание глинозема в промышленных рудах превышает 28 %. На качество руд влияет содержание кремнезема, железа, кальция, серы; по соотношению этих компонентов определяются сорта руд.

Бокситы представляют собой остаточную или осадочную породу, состоящую из гидроксидов алюминия, оксидов и гидроксидов железа, глинистых минералов и кварца. По минеральному составу различают бокситы гиббситовые, бемитовые, диаспоровые. При этом замечено, что в молодых, не претерпевших преобразования, месторождениях преобладают гиббситовые руды, а в более древних и преобразованных они сменяются бемитовыми и диаспоровыми.

Все промышленные типы бокситовых месторождений являются экзогенными образованиями. Они подразделяются на месторождения выветривания и осадочные. Месторождения выветривания делятся на остаточные латеритные и остаточные переотложенные, а осадочные — на залегающие в терригенных формациях платформенных областей и связанные с карбонатными формациями геосинклинальных областей. Характеристика геолого-промышленных типов приведена в табл. 1.2.1.

Основное промышленное значение имеют латеритные месторождения (90 % мировых запасов).

Таблица 1.2.1

Главнейшие геолого-промышленные типы месторождений алюминия

Геолого-промышленный тип	Рудоносная формация	Рудные тела	Условия залегания	Состав руд	Примеры месторождений	Масштаб, залежи
1. Остаточный латеритный	а) Современная кора выветривания на древних сланцах, базальтах и др. б) Древняя кора выветривания на фидлитовых сланцах и метабазитах	Горизонтальные залежи площадью 5–15 км ² , мощность до 10–15 м. Крупные горизонт. залегающие тела протяженностью до неск. дес. км, мощн. неск. м	Приповерхностные на плоских возвышенностях — бовалах; перекрыты железистой кирасой. Залежи перекрыты осадочными породами палеозоя, мезозоя, кайнозоя, мощность 450–600 м	Гиббсит, гематит Бемит, гиббсит, шавозит	Боке, Фриа (Гвинея) Висловское (КМА, Россия)	Уникальные, до 3 млрд т Крупные, 80 млн т
2. Остаточный переотложенный	Молодые мезозойско-кайнозойские песчаноглинистые, прилегающие к площадям развития латеритных кор выветривания	Линзообразные, пластообразные	1–3 горизонта среди песчанников, глин и др.	Гиббсит, бемит, гематит, каолинит, сидерит	Месторождения Гвианской береговой равнины, Уэйл, Гов (Австралия)	Крупные
3. Осадочный платформенный	Терригенные, карбонатно-терригенные, вулкано-терригенные континентальные, красноцветные, иногда сульфидные	Линзообразные, пластообразные	На глубинах 40–150 м под осадочными формациями палеозоя, мезозоя	Гиббсит, бемит, каолинит	Тихвинская группа, Северо-Онежский (Россия)	Мелкие, средние, редко — крупные
4. Осадочный геосинклинальный	Карбонатная формация (терригенная, континентальная, мелководная терригенно-карбонатная, рифогенная субформация)	Линзовидные, пластообразные	Среди дислоцированных осадочных толщ	Диаспор, бемит, редко — гиббсит, гематит, пирит	Красная Шапочка и др., СУБР, Россия	Крупные, средние

В России разрабатываются бокситовые месторождения Северо-Уральского (СУБР) и Южно-Уральского (ЮУБР) бокситоносных районов (84 % добычи) и Тихвинского района (16 %). В связи с недостатком сырья для обеспечения потребностей отечественной металлургии Россия ежегодно ввозит около 50 % (3,7 млн т) глинозема из Украины, Казахстана и стран дальнего зарубежья.

Медь обладает комплексом замечательных свойств — высокой электропроводностью, химической устойчивостью, пластичностью, способностью образовывать сплавы с различными металлами. Наиболее широко применяются сплавы меди с оловом (бронза), с цинком (латуни), никелем (мельхиор) и алюминием (алюминиевые бронзы). По объему производства и потребления медь занимает третье место после железа и алюминия.

Общие запасы меди в 58 зарубежных странах превышают 890 млн т, в том числе подтвержденные — более 650 млн т. Наиболее крупными запасами владеют Чили, США, Китай, Польша, Перу, Замбия, Канада, Панама, Заир, Австралия. По разведанным запасам (около 15 % мировых) Россия занимает девятое место в мире. В России запасы меди учтены на 134 месторождениях, 72 из которых являются собственно медными, остальные — комплексными; основные запасы сосредоточены на Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье.

Ежегодное производство меди превышает 15 млн т.

Месторождения меди с запасами более 10 млн т относятся к уникальным. Крупные месторождения имеют запасы от 3 до 5, средние — от 0,5 до 3, мелкие — менее 0,5 млн т. Богатые руды содержат более 2 % меди, рядовые — 1–2 %, бедные — менее 1 %. Среднее содержание меди в добываемых рудах в настоящее время составляет 1–0,8 %.

Руды медных месторождений в большей части комплексные, при этом до 80 % меди извлекается из сульфидных руд. Остальное приходится на карбонаты, оксиды, силикаты и самородную медь. Всего из руд различных типов извлекается более 13 компонентов, доля попутной продукции в суммарной стоимости сырья составляет 40–50 %.

Основу минерально-сырьевой базы составляют следующие главные геолого-промышленные типы ме-

сторождений: молибден-меднопорфировый, медноколчеданный, медно-цинковоколчеданный, медистых песчаников и сланцев и сульфидный медноникелевый. На их долю приходится более 90 % всех запасов меди. В минерально-сырьевой базе России главное значение имеют месторождения следующих типов: сульфидные медно-никелевые, молибден-меднопорфировые, медно-цинковоколчеданные и медистых песчаников и сланцев. Краткая характеристика наиболее важных геолого-промышленных типов месторождений меди приведена в табл. 1.2.2.

Свинец и цинк в природе встречаются совместно, образуя комплексные полиметаллические месторождения. Мировые запасы свинца на начало XXI в. составили около 90 млн т, цинка — около 220 млн т. Наиболее крупными запасами свинца и цинка обладают США, Австралия, Казахстан, Канада, Китай. Россия занимает четвертое место в мире по запасам свинца и пятое по запасам цинка. Суммарные запасы свинца и цинка в уникальных месторождениях превышают 10 млн т, в крупных — колеблются от 10 до 5 млн т, в средних — от 5 до 2,5 млн т, в мелких — менее 2,5 млн т. По масштабам использования в промышленности свинец и цинк, каждый в отдельности, уступают меди, а в сумме превосходят ее. Ежегодное производство в концентрациях составляет (в млн т): свинца — 2,8–3,0; цинка — 6,2–7,3; рафинированного свинца — 4,9–5,4 (при этом 40–45 % его получают из вторичного сырья); металлического цинка — 6,3–6,9.

В России месторождения свинца и цинка сосредоточены на Урале, Сев. Кавказе, Рудном Алтае, Енисейском крае, в Забайкалье, Приморье.

В рудах свинцово-цинковых месторождений встречается до 30 рудных минералов, однако основное промышленное значение имеют лишь галенит и сфалерит. Среднее значение стандартного отношения $Zn : Pb$ для всех генетических типов месторождений по запасам и добыче составляет (1,4–1,85):1. Попутными компонентами свинцово-цинковых руд являются Cd, Ag, Au, Se, Te, Ge, Ta, Ga, In. В свинцово-цинковых рудах сосредоточено более 80 % мировых запасов кадмия, 40–50 % таллия, 25–30 % селена, теллура, индия, 15–20 % гал-

Таблица 1.2.2

Главные геолого-промышленные типы месторождений меди

Геолого-промышленный тип	Рудоносные формации	Рудные тела	Минеральный состав руд	Среднее содержание элементов	Попутные компоненты	Масштаб месторождений	Отн. роль в мировых запасах	Примеры месторождений
1. Сульфидно-медно-никелевый (магнетитовый)	Габбро-троктолитовая; габбро-долеритовая и др. базит-гипербазитового ряда	Пластовые и линзовидные залежи в расслоенных массивах, височие и доновые — вкрапленные и массивные руды	Главные: пирротин, пентландит, халькопирит; металлы платиновой группы Второстепенных: кубанит, магнетит, ильменит, барит, ковеллин	Cu = 0,2-7,5 Ni = 0,5-7,5	Co, ЭПГ, Au, Ag, Se, Te	Средние, крупные	2-2,5 %	Месторождения Норильского района, Печенгское (Россия)
2. Молибден-медно-порфиновый (гидротермальная плутоногенный)	Формации габбро-диорит-плагио-гранитного ряда	Штофверки изометричной удлиненной и сложной формы в апикальных частях рудоносных порфировых штофов	Главные: пирит, халькопирит, молибденит Второстепенных: борнит, энаргит, блеклая руда, халькозин	Cu = 0,2-1,5 Mo = 0,001-0,02	Mo, Au, Ag, As, Se, Te	Крупные, уникальные	57 %	Чурикамата, Эль-Тениенте (Чили), Коурад (Казахстан), Песчанка (Россия)
3. Медно-цинково-колчеданно-сульфидный (вулкано-генный)	Дифференцированные вулканические базальтоидного ряда	Линзовидные пластообразные залежи, согласные с вмещающими породами	Главные: пирит, халькопирит, сфалерит Второстепенных: галенит, блеклые руды, барит	Cu = 1,0-6,0 Zn = 1,0-4,0	S, Au, Ag, Cd, Se, Te, In, Ta, Ge	Мелкие, средние, крупные	6 %	Гайское, Сибайское (Ю. Урал, Россия), Рио-Тинто (Испания), Скуротгисса (Калифорния)
4. Стратиформный (медистые песчанки и сланцы)	Пестроцветные осадочные (вулканогенно-осадочные) формации молассового типа	Пластовые, пластообразные, лентовидные	Главные: пирит, халькопирит, борнит, халькозин Второстепенных: галенит, сфалерит, магнетит, ильменит	Cu = 1,0-6,0	Pb, Zn, Au, Ag, Cd, Mo, Re, Fe, Co, U, ЭПГ, Ni	Уникальные, крупные	15-20 %	Удокан (Россия), Джезаган (Казахстан), Чамбиши (Замбия)

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

лия и висмута. Свинцово-цинковые руды дают 50 % мировой продукции серебра. Свинцово-цинковые руды относятся к богатым при содержании свинца свыше 4 % или суммы свинца и цинка свыше 7 %; руды среднего качества содержат свинца 2-4 % или 4-7 % суммы свинца и цинка; бедные руды характеризуются содержанием свинца 1,2-2 % или суммы свинца и цинка не ниже 4 %.

Основу мировой минерально-сырьевой базы свинца и цинка составляют следующие главные геолого-промышленные типы месторождений: колчеданно-полиметаллический в терригенных и карбонатно-терригенных формациях, колчеданно-полиметаллический в вулканогенных формациях и свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных формациях. В минерально-сырьевой базе России существуют значение имеют геолого-промышленные типы свинцово-цинковых месторождений в известняках (часто со скарнами) и гидротермальных жильных месторождений. Следует также отметить, что более 30 % учтенных запасов цинка в России заключены в медно-цинковоколчеданных месторождениях. Краткая характеристика наиболее важных типов свинцово-цинковых месторождений приведена в табл. 1.2.3.

Никель и кобальт. Подтвержденные запасы никеля в зарубежных странах на начало XXI в. составляют около 37 млн т. Основная масса запасов (70 %) сосредоточена в Новой Каледонии и на Кубе. В России никелевые месторождения расположены на Кольском п-ове, в Красноярском крае, на Южном Урале. По величине запасов никеля месторождения подразделяются на уникальные — более 5 млн т, весьма крупные — 1-5 млн т, крупные — 1 млн-100 тыс. т, средние и мелкие — менее 100 тыс. т. Основу минерально-сырьевой базы никеля составляет относительно небольшое число месторождений: в 34 наиболее крупных сосредоточен 91 % мировых подтвержденных запасов, они обеспечивают 93 % мировой добычи.

Подтвержденные запасы кобальта в зарубежных странах превышают 5 млн т. Наиболее крупные запасы кобальта в Конго (39,2 %), Австралии (11,3 %), на Кубе (10,8), в Новой Каледонии, Индонезии. В уникальных

Главные геолого-промышленные типы свинцово-цинковых месторождений

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Геолого-промышленный тип	Рудоносные формации	Рудные тела	Минеральный состав руд	Среднее содержание элементов, %	Попутные компоненты	Масштабы месторождений	Отн. роль в мировых запасах, в % Pb/Zn	Примеры месторождений
1. Колчеданно-полиметаллический в терригенных и карбонатно-терригенных формациях	Углеродистые терригенно-филицидные формации с редуцированными вулканогенными комплексами базальтового или риолитобазальтового ряда	Протяженные линзовидные, пластообразные тела, иногда многоярусные залежи. Длина тел — до километра, мощность — до 250 м	Главных: сфалерит, галенит, барит, пирротин Второстепенных: сульфосоли Pb, пирит, магнетит, арсенинит, буланжерит и др.	Pb = 0,4–7 Zn = 0,1–6,5	Ag, Cu, Cd, As, Ba	Крупные, уникальные	36/31	Филизчай (Азербайджан), Холдингское, Горевское (Россия); Маунг-Айза (Австралия); Ред-Дог (США)
2. Колчеданно-полиметаллический в вулканогенных формациях	Контрастно и последовательно дифференцированные базальтоидные формации — базальтоидная, андезиталит-риолитовая и др.	Линзовидные, пластообразные тела приурочены к палеовулканическому структурному поясу. Протяженность тел — до 1–2 км, мощность — от метров до 15–20 м	Главных: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит Второстепенных: тетраэдрит, теннантит, марказит, арсенинит, золото и др.	Pb = 4 Zn = 6 Cu = 0,3 Au = 3 г/т Ag = 8 г/т	Cd, Sb, As, Ag, Au, Ba	Крупные, уникальные	15/22	Ридлер-Сокольское, Тишинское (Рудный Алтай, Казахстан), Корбалхинское (Рудный Алтай, Россия), Куроко (Япония), Кидд-Крик (Канада)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Геолого-промышленный тип	Рудоносные формации	Рудные тела	Минеральный состав руд	Среднее содержание элементов, %	Попутные компоненты	Масштабы месторождений	Отн. роль в мировых запасах, в % Pb/Zn	Примеры месторождений
3. Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных формациях	Карбонатные (известняково-доломитовые) формации (в том числе рифогенные и биогенные)	Сопляные пластовые и ленточные залежи в одном или нескольких стратиграфических горизонтах. Протяженность — от сотен м до первых км, ширина — до 1 км, мощность 0,5–200 м	Главных: галенит, барит, сфалерит Второстепенных: пирит, марказит, халькопирит.	Pb = 0,4–5,8 Zn = 1,0–7,4 BaSO ₄ = 3,3–6,4	Ba, Ag, Cd, Se, Te, In, Ge	Крупные, уникальные	16/17	Павловское; Сардана (Россия), Миргалмсай (Казахстан); месторождения долины р. Миссури (США)
4. Свинцово-цинковый в известняках, часто со скарнами	Карбонатные формации, часто в сочетании с грапитовыми комплексами вулкано-плутонических ассоциаций	Изометричные тела сложной и линзовидной форм, трубо- и жиллообразные тела. Протяженность — 200–800 м, мощность — 5–70 м	Главных: галенит, сфалерит Второстепенных: арсенинит, халькопирит, блеклые руды, антимонит	Pb = 1–6 Zn = 1,7–6 Ag = 60 г/т	Cu, Ag, Cd, Zn, Bi, Au	Средние и мелкие	12/6	Николаевское (Приморье, Россия), Кызыл-Эсте, Асқоран (Казахстан), Карамазар (Узбекистан)
5. Свинцово-цинковый жильный	Гранитоидные формации и рифитовые комплексы вулканических формаций	Жилы, жильные и штокообразные залежи. Протяженность — до сотен м, мощность — от долей метра до 10 м	Главных: галенит, сфалерит Второстепенных: халькопирит, пирит, блеклые руды	Zn = 2–7	Ag, Cu, Ga, Te, Jn	Мелкие, средние	4/4	Садон, Эгид (Россия), Гарц, Рудные горы (Германия)

месторождениях кобальта запасы превышают 50 тыс. т, в крупных составляют 50–25, в средних — 25–10, в мелких — менее 10 тыс. т.

Запасы и добыча никеля и кобальта сосредоточены в основном в двух геолого-промышленных типах месторождений — сульфидных кобальтсодержащих медно-никелевых и силикатных кобальт-никелевых. Значительное количество кобальта (почти 43 % мировой добычи) поступает также из руд некоторых месторождений медистых песчаников (Замбия, Конго, Уганда). Существенны концентрации кобальта также в некоторых скарново-жилообразных и колчеданных месторождениях.

В магматических месторождениях сульфидных медно-никелевых руд сосредоточено около 40 % запасов никеля и более 10 % кобальта, в силикатных рудах — около 60 % никеля и кобальта. В России в сульфидных медно-никелевых месторождениях содержится более 90 % разведанных запасов никеля и кобальта и менее 10 % — в силикатных никелевых.

Силикатные кобальт-никелевые месторождения представляют собой латеритные коры выветривания по мафит-ультрамафитовым интрузиям. По форме залегания выделяют месторождения площадные, линейные и линейно-площадные. Мощность латеритных кор выветривания достигает 40–50 м. Среднее содержание никеля в латеритных рудах — от 0,9 до 2,9 %. В некоторых разновидностях руд оно повышается до 3–4 % и даже до 9 %. Среднее содержание кобальта — 0,1 %, в богатых рудах достигает 3–4 %.

Латеритные никелевые месторождения заключают в себе более 46 % запасов кобальта и обеспечивают свыше 41 % его добычи.

В перспективе крупными источниками никеля и кобальта могут стать месторождения океанского дна — скопления железомарганцевых конкреций и кобальтоносных корок подводных гор. При содержании никеля 0,6–1 %, кобальта — 0,1–0,4 % ресурсы металлов в этих образованиях грандиозны, т. к. измеряются миллиардами тонн.

Олово, вольфрам, молибден — эти три металла очень часто образуют совместные, комплексные мес-

торождения, где присутствуют в различных сочетаниях между собой и с другими элементами.

Олово извлекают из оловянных и комплексных олово-вольфрамовых, олово-серебряных и олово-полиметаллических руд (табл. 1.2.4). Разведанные запасы составляют 8 млн т. Ежегодное производство олова в концентрате составляет около 240 тыс. т, рафинированного — более 280 тыс. т. Обеспеченность подтвержденными запасами современного уровня производства олова составляет в целом 32 года.

Уникальные коренные месторождения олова характеризуются запасами более 100 тыс. т, крупные — 100–25 тыс. т, средние — 25–5 тыс. т, мелкие — менее 5 тыс. т. Наиболее крупными запасами обладают Китай, Бразилия, Малайзия, Индонезия, Боливия, Таиланд, Австралия. В России основные месторождения сосредоточены в Верхоянско-Чукотской, Сихотэ-Алинской и Монголо-Охотской рудных провинциях.

Основной рудный минерал промышленных оловянных руд — касситерит. Содержание олова в рудах коренных месторождений колеблется от более 1 % в богатых до 0,1 % в бедных рудах. Россыпные месторождения разрабатываются при содержании касситерита 100–200 г/м³, в богатых россыпях содержание достигает 10–15 кг/м³.

Россыпи — ведущий геолого-промышленный тип оловянных месторождений; в них заключено почти 59 % запасов олова, они обеспечивают 75 % производства металла.

Из коренных месторождений наибольшее значение имеют грейзеновые, вулканогенные гидротермальные и плутоногенные гидротермальные; последние содержат более 50 % балансовых запасов олова в России.

Вольфрам — металл твердых сплавов, специальных сортов стали, электротехнической и электронной промышленности. Разведанные запасы составляют 3 млн т. Наиболее крупные запасы находятся в Китае, Казахстане, Канаде, США, Боливии. Россия занимает третье место по запасам вольфрама. Уникальные коренные месторождения содержат запасы более 250 тыс. т WO₃ (Санг-Донг в Южной Корее, Панаскуэйра в Португалии), крупные — 250–100 тыс. т, средние — 100–15, мелкие — менее 15 тыс. т. Богатыми считаются

Таблица 1.2.4
Основные геолого-промышленные типы месторождений олова, вольфрама, молибдена

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Геолого-промышленный тип	Рудоносные формации	Рудные тела	Минеральный состав руд	Среднее содержание элементарных элементов, %	Попутные компоненты	Масштаб месторождений	Отн. роль в мировых запасах	Примеры месторождений
Скарновый	Интрузивные и вулканоплутонические комплексы известково-щелочного характера, многофазные, пересыщенные глиноземом, отличающиеся повышенным щелочностью и активностью калия к концу магматического процесса.	Прерывистые тела сложной формы	Касситерит; станнин; шешлит	Sn = 0,3-0,5 (до 20)		Мелкие, средние	Sn = 0,7	Китльское (Россия); Маунт-Гарнет (Австралия)
Молибден-вольфрамовый	Известково-щелочного характера, многофазные, пересыщенные глиноземом, отличающиеся повышенным щелочностью и активностью калия к концу магматического процесса.	Плитообразные тела	Молибденит и др. сульфиды	WO ₃ = 0,06-0,6 Mo = 0,03-0,1	Bi, As, Cu, Be	Крупные, средние	W = 25,6 Mo = 2,1	Турнаузу (Россия); Сант-Донг (Ю. Корея)
Полиметаллически-вольфрамовый	Известково-щелочного характера, многофазные, пересыщенные глиноземом, отличающиеся повышенным щелочностью и активностью калия к концу магматического процесса.	Минерализованные тектонические зоны	Молибдошеелит	WO ₃ = 0,8-2,0	Pb, Zn	Средние, крупные		Восток II (Россия)
Грейзеновый	Известково-щелочного характера, многофазные, пересыщенные глиноземом, отличающиеся повышенным щелочностью и активностью калия к концу магматического процесса.	Штокерки, жильные зоны, трубообразные тела, штоки, жилы	Касситерит, вольфрамит, арсенопирит, пиннацит	WO ₃ = 0,1-2,5	Li, Ta, Nb, Zr, F, TR	Мелкие, средние	Sn = 15,6	Эглека, Бугульчаг, Эхут (Россия); Питанга (Бразилия), Альтенберг (Германия), Цановед (Чехия)
Олово-вольфрамовый	Известково-щелочного характера, многофазные, пересыщенные глиноземом, отличающиеся повышенным щелочностью и активностью калия к концу магматического процесса.	Штокерки, жильные зоны, трубообразные тела, штоки, жилы	Касситерит, вольфрамит, арсенопирит, пиннацит	WO ₃ = 0,1-2,5	Li, Ta, Nb, Zr, F, TR	Мелкие, средние	Sn = 15,6	Эглека, Бугульчаг, Эхут (Россия); Питанга (Бразилия), Альтенберг (Германия), Цановед (Чехия)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Геолого-промышленный тип	Рудоносные формации	Рудные тела	Минеральный состав руд	Среднее содержание элементарных элементов, %	Попутные компоненты	Масштаб месторождений	Отн. роль в мировых запасах	Примеры месторождений
Молибден-вольфрамовый	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Жилы, штокерки, жильные зоны протяженностью до неск. км в наклупольных зонах	Олово-вольфрамовые, молибден-вольфрамовые, вольфрамит, касситерит, молибденит, маттерит, пирротин, шешлит, висмутин	WO ₃ = 1-2 Mo = 0,01-0,2 WO ₃ = 0,3-1,0	Bi, Nb, Ta, Be, Au, Sc		W = 60 %	Акчатау (Казахстан), Юголар (Монголия)
Гидротермальный вольфрамовый	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Жилы, штокерки, жильные зоны протяженностью до неск. км в наклупольных зонах	Касситерит, вольфрамит, флюорит	Sn = 0,3-0,8 WO ₃ = 0,5-1,5	Zn, Pb, Cu, W	Средние и мелкие	Sn = 3,9	Пырькайское (Чукотка, Россия)
Кварцевые олово-вольфрамовые	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Жилы, штокерки, жильные зоны протяженностью до неск. км в наклупольных зонах	Сульфиды Zn, Pb, Cu	WO ₃ = 0,8-1,2		Средние и крупные	Sn = 6,3	Депутатское (Якутия, Россия)
Касситерит-силикатный	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Штокерки	Молибденит, халькопирит, магнетит	Mo = 0,05-0,5	Pb, Cu, Zn, Bi	Уникальные, крупные		Панаскуэйра (Португалия)
Молибден-вольфрамовый	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Штокерки	Молибденит, халькопирит, магнетит	Mo = 0,05-0,5		Уникальные, крупные		Жирекен (Россия), Кляймакс, Гендерсон (США)
Молибден-вольфрамовый (порфировый)	Специализация рудоносных гранитоидов связана с их петрохимическими особенностями: молибденоносные плутоны характеризуются повышенной щелочностью, а оловорудные — более высокой калевностью	Штокерки	Молибденит, халькопирит, магнетит	Mo = 0,005-0,025	Au, Ag, Bi, Se, Te, Re, Ge	Уникальные, крупные		Чукикамата, Эль-Тениенте (Чили), Сорское (Россия)

Таблица 1.2.4 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вулканогеотермальный гидротермальный (сульфосольно-сульфидный тип касситерит-сульфидной формации). Комплексные руды: Sn-W-Bi и Sn-Ag-W	Риолитовые, риодацитовые и дацитовые комплексы вулканоплутонических ассоциаций	Жилы, штокервски в жерновых зонах, неках	Главных: касситерит, станный, висмутин, арсенопирит Второстепенных: вольфрамит, халькопирит, галенит, сфалерит	Sn = 0,3-0,4 (до 1-1,2 %)	Ag, Pb, Zl, Bi, W	Мелкие, средние, крупные	Sp = 12,8	Льяльгута, Чо-ролька (Боливия)
Россышной	Элювиальные Делювиальные Аллювиальные Прибрежно-морские	Лентовидные, линзовидные	Касситерит, колумбит-танталит, вольфрамит, ильменит, монашит, циркон	Касситерит 0,2-1,5-20 кг/м ³	W, Ta, Nb, Ti, РЗЭ	Средние, крупные, уникальные	Sp = 59	Куала-Ланчат (Малайзия) Депутатский Р-Н Индонезия, Таиланд, Малайзия

руды, содержащие более 1 % WO₃; бедными — 0,3–0,1 %. В россыпях содержание WO₃ должно быть не ниже 300–200 г/м³. Главными минералами вольфрамовых руд являются вольфрамит, гюбнерит (на них приходится 75 % мировой добычи), шеелит (25 %). Руды коренных месторождений подразделяются на два типа: кварц-вольфрамитовые и скарновые шеелитовые. Первые состоят из кварца (до 95 %) и вольфрамита, содержат касситерит, шеелит, берилл, молибденит, халькопирит. Из нерудных обычны: полевые шпаты, слюды, топаз, флюорит, халцедон. Скарновые шеелитовые руды содержат помимо шеелита молибденит, сульфиды; нерудные минералы представлены гранатом, пироксеном, волластонитом, везувианом, скаполитом. Среди промышленных месторождений вольфрама выделяются типы: скарновый, грейзеновый, гидротермальный плутоногенный (табл. 1.2.4). Меньшее значение имеют гидротермальный вулканогенный, стратиформный и россыпной типы.

Молибден — свыше 80 % его используется в металлургии для легирования сталей, чугунных отливок и др. Подтвержденные запасы молибдена в 25 странах оцениваются в 12 млн т. Уникальные месторождения (Кляймакс, Гендерсон, США) заключают в себе более 500 тыс. т металла, мелкие промышленные месторождения — менее 25 тыс. т. Половина запасов сосредоточена в небольшом числе крупных штокервских месторождений. Наиболее крупные запасы находятся в Китае, США, Чили, Армении, Канаде, Перу. На их долю приходится 80 % подтвержденных запасов. Добыча молибденовых руд осуществляется в 17 странах, пять из которых — США, Китай, Чили, Россия и Канада — обеспечивают почти 90 % мирового производства.

Главный минерал промышленных руд — молибденит, на него приходится 95 % всего добываемого молибдена. Второстепенную роль играет молибдошеелит, совсем незначительную — повелит, ферримоллибдит и вульфенит, распространенные в зонах окисления.

Молибден получают из молибденовых (молибденитовых), медно-молибденовых (халькопирит-молибденитовых), молибден-вольфрамовых (кварц-вольфрамит-

молибденитовых и молибденит-шеелитовых) и уран-молибденовых (настуран-молибденитовых) руд. В богатых рудах содержание молибдена превышает 0,5 %, в бедных составляет 0,2–0,1 %, убогие (комплексные) руды содержат 0,1–0,02 %. Среди промышленных месторождений важнейшую роль играют скарновые, грейзеновые, плутоногенные гидротермальные (см. табл. 1.2.4). В них содержится 94 % суммарных подтвержденных запасов молибдена.

Месторождения руд редких, рассеянных и редкоземельных металлов

К числу редких относятся более 30 элементов, которые подразделяются (по А. Гинзбургу, 1986) на следующие группы: 1) редкие щелочные элементы — литий, рубидий, цезий; 2) легкие элементы — бериллий; 3) редкие тугоплавкие элементы — тантал, ниобий, цирконий, гафний; 4) редкоземельные элементы, или лантаноиды, и их аналоги — иттрий, скандий; 5) рассеянные элементы, накапливающиеся преимущественно в сульфидных рудах, — германий, рений, таллий, кадмий, индий, галлий, селен, теллур.

Общей особенностью редких элементов является то обстоятельство, что практически все они используются в новейших современных технологиях и потому, с одной стороны, были востребованы позже других металлов (в последние 30–50 лет), а с другой, потребление их постоянно возрастает.

Редкие элементы концентрируются в комплексных месторождениях, объединяясь в них в зависимости от геохимических особенностей. Поэтому, несмотря на обилие конкретных геолого-промышленных типов месторождений каждого элемента, они могут быть сгруппированы в относительно небольшой ряд основных типов, которые и рассматриваются ниже (табл. 1.2.5).

Литий, цезий, рубидий. Литий: традиционные области использования — военная техника, стекольная и керамическая промышленность, ядерные реакторы. Рубидий и цезий: космическая техника, радиотехника, электроника, электронно-оптические системы, солнечные батареи и т. д.

Таблица 1.2.5

Главные геолого-промышленные типы месторождений редких элементов

Геолого-промышленный тип	1	2	3	4	5	6	7	8
Магматические а) танталосные редкометалльные граниты б) колумбитовосные граниты в) лопаритосные стратифицированные нефелиновые сиени- ты г) массивы апатит- нефелиновых пород	Ta Ta, Nb, Sn Ta, Nb, TR _{ce} TR _{ce}	Зоны вкраплен- ных руд Тела вкрапленных руд Маломощные «пласты», обога- щенные рудной вкрапленностью Нефелин- апатитовые поро- ды массива	Главные мине- ралы руд Танталит- колумбит, мик- ролит Колумбит, кас- ситерит, циркон	Содержание ведущих элементов, % Ta ₂ O ₅ = 0,013–0,03 Nb ₂ O ₅ = 0,9 Ta ₂ O ₅ = 0,002–0,02 Средн. сол. Nb ₂ O ₅ = = 0,1 %, Ta ₂ O ₅ — 0,008, в урнитах — Nb ₂ O ₅ = = 0,3, Ta ₂ O ₅ = 0,024. Суммарное сол. акцес- сорных минералов до 10 %. ΣTR = 0,24 до 1,5 Сод. TR в апатите ~ 1 %	Попутные компо- ненты Nb, Sn Zr, W Ti Zr	Отн. роль в мировых запасах Ta = 10 %	Примеры Орловское, Этыкинское (Россия) Плато Джос (Нигерия) Ловозерский плутон (Россия) Хибинский массив (Россия)	

Таблица 1.2.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
Редкометалльно-карбонатитовый	Nb TR _{Ce}	Обогащенные рудной вкрапленностью участки различных фаз массивов	Бадделейт, гачеттолит, пирохлор, циркелит, апатит, колумбит, магнетит	Nb ₂ O ₅ = 0,3–0,7 TR ₂ O ₃ = 1–3	Ta, Zr, U, Fe, Th, Ti	Nb = 25 %	Ковдор (Россия), Санг-Оноре (Канада); Борефруди-Араша, Тапира, Якупиранга (Бразилия)
Редкометалльно-гранитные пегматиты 1. Альбит-сподуменовые	Li, Ta, Be	Параллельные слабодифференцированные крупноплавающие тела, длина — 1–3 км, мощн. — 20–30 м	Сподумен, колумбит, берилл, петалит, гачеттолит, пирохлор	Li = 1,15–1,45 Ta ₂ O ₅ = 0,004–0,01 Nb ₂ O ₅ = 0,008–0,012 BeO = 0,025–0,04	Nb, Sn, Cs, Rb	Li = 40 % Ta = 7 %	Кингс-Маунтин (США), Лигна (Канада), Лалин (Испания)
2. Сподумен-микросилин-альбитовые	Li, Cs, Rb, Ta, Be	Линзовидные пологотпадающие тела и свиты тел; зональные. Длина — до 800 м, мощн. — 3–50 м	Поллуцит, сподумен, петалит, лепидолит, танталит, воджигит, микролит, берилл	U ₂ O = 0,6–0,9 Cs ₂ O = 0,2–0,5 BeO = 0,04–0,25 Ta ₂ O ₅ = 0,015–0,03	Nb, Sn, Ga, Lr	Cs = 100 % Rb = 100 % Li = 5 % Ta = 35 %	Берник-Лейк (Канада), Бикьята (Зимбабве); Гринбушес (Австралия)
3. Микроклин-альбитовые и альбитовые (безлитиевые)	Be, Ta	Крупноплавающие плиткообразные и штокообразные	Берилл, танталит-колумбит	BeO = 0,1–0,2 Ta ₂ O ₅ = 0,012–0,022		Ta = 3 %	Месторождения Зап. Сибири, Казахстан

1	2	3	4	5	6	7	8
Редкометалльные грейзены 1. Грейзеновый комплексный	Be	Жилы, жильные зоны, штокерки	Берилл, вольфрамит, молибденит, касситерит	BeO = 0,05–0,2	W, Mo, Sn, Bi и др.	Крупные	Акчатау (Казахстан), Шерлово-Горское (Россия)
2. Грейзеновый (флюоритовые метасоматиты)	Be	Метасоматические тела, прожилковые зоны до 1500 м	Фенакиит, флюорит, хризоберилл, топаз	BeO = 0,1–0,3	Флюорит Li, Rb, Cs, Zn, Sn, W	Крупные	Вознесенское, Потраничное (Приморье, Россия)
3. Грейзеновый (берилл-сподуменные метасоматиты)	Be	Метасоматические залежи, жильные зоны, штокерки	Берилл, флюорит, маргарит, флогопит	BeO = 0,1–0,7	W, Mo, Sn, Bi, изумруд	Средние, крупные	Малышевское (Россия); Боя-Виста (Бразилия)
Полевощатковые метасоматиты а) кварц-альбит-микроклиновые	Be	Метасоматические линзовидные залежи	Гентельяин, фенакиит, берtrandит, касситерит;	BeO = 0,3–1,4	Ta, Nb, TR, Li, Zr	Крупные	Тор-Лейк (Канада)
б) щелочные кварц-полевощатковые	Ta, Nb	Метасоматические вытянутые залежи	криолит, пирохлор, колумбит, гагарнит, ильменит, торит	Ta ₂ O ₅ = 0,015–0,02 Nb ₂ O ₅ = 0,15–0,2 до 0,6	TR, Zr		Уринское (Россия)
Скарновый	TR	Залежи на контактах щелочных гранитов и сyenитов с известняком	Магнетит, гематит, бастнезит, лантанит, ортит, церит, монацит, ксенотим	TR ₂ O ₃ ·Y ₂ O ₃ = 0,2–5,5 Средн. = 1,5	Fe		Бастнез, Вильгельм (Швеция)

Таблица 1.2.5 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
Плутоний гидротермальный	Be	Пластообразные метасоматические залежи, штокерки	Берtrandит, фенакит, лейкофан, флюорит	BeO = 0,1-1,3 Флюорит — 5-20	Pb, Zn, TR, Ag	Крупное	Ермаковское (Бурятия, Россия)
Вулканогенный гидротермальный	Be	Пластообразные и линзовидные минерализованные зоны среди риолитовых туфов	Берtrandит, флюорит, гельберtrandит	BeO = 0,2-1,0	Li, U, F	Уникальное	Спер-Маунтин (США)
Месторождения выветривания (по карбонатам, колумбитоносным гранитам, танталоносным пегматитам)	Ta, Nb, TR	Плащеподобные залежи	Пирохлор, баделлит, титаномэгнетит, апатит, вермикулит	Nb ₂ O ₅ = 2,5-4,0 TR ₂ O ₅ = 8-10 %	U, Th, Sn	Nb = 72 % Ta = 33 %	Араша, Якупиранга (Бразилия)
Россыпные месторождения	Ta, Nb, TR, Zr, Hf	Делювиально-аллювиальные россыпи Прибрежно-морские россыпи	Колумбит Монацит, ксенотим, фертусонит Циркон, рутил, монацит		Sn, W		Плато Джос (Нигерия) Побережье Австралии, Индия, Шри-Ланка и др.

Подтвержденные запасы Li₂O в 20 странах составляют 8,5 млн т, при этом 55 % запасов заключено в литиеносной рапе соляных озер. В гранитных пегматитах сосредоточено 45 % запасов и в редкометалльных грейзенах около 0,5 %. Наиболее крупными запасами обладают Боливия (более 40 %), Чили, Австралия. В крупных месторождениях запасы Li₂O составляют 1 млн 500 тыс. т, в мелких — 200 — 100 тыс. т. Годовое производство лития превышает 10 тыс. т.

Главные промышленные минералы лития — сподумен, лепидолит, петалит, монтебразит. В богатых рудах содержание Li₂O составляет 1,3 — 1,5 % (редко до 2 %), в бедных — 0,6 — 1,0 %. Подтвержденные запасы цезия в зарубежных странах оцениваются в 111 тыс. т. Уникальные по запасам месторождения содержат более 100 тыс. т Cs₂O, крупные — тысячи тонн, мелкие — десятки тонн. Практически весь цезий извлекается из поллцитита сподумен-микроклин-альбитовых месторождений и получается попутно при переработке лепидолитовых и сподуменовых концентратов. Потребление цезиевой продукции составляет десятки тонн, рубидиевой — первые тонны. В Канаде находится уникальное пегматитовое месторождение Берник-Лейк, дающее до 90 % мировой добычи цезия и 30 — 40 % добычи тантала. Основной объем добычи лепидолита дают Зимбабве, Намибия, частично Мозамбик.

Бериллий. Благодаря уникальным свойствам — низкая плотность, твердость, упругость, тугоплавкость, коррозионная устойчивость — находит широкое применение в высокотехнологических производствах. Используется в атомной, космической, электротехнической отраслях.

Подтвержденные запасы в зарубежных странах оцениваются в 190 тыс. т BeO, наиболее крупные находятся в США (20 %), Бразилии и Китае (по 18 %). Российские запасы сопоставимы с бразильскими. Ведущую роль в добыче бериллия играют США, Китай, Россия. Годовое производство бериллиевых концентратов превышает 5,8 тыс. т.

Крупными считаются месторождения с запасами BeO — 100 — 40 тыс. т, рядовыми — 40 — 10 тыс. т. Богатые руды содержат BeO 0,5 % и более, бедные —

0,04–0,1%. Из многочисленных минералов бериллия промышленное значение имеют берилл, фенакит, берtrandит, хризоберилл, барилит, гентгельвин. Почти 75% мировых запасов приходится на бериллиевые руды; в то же время наиболее богатыми являются фенакит-берtrandитовые, гентгельвиновые, барилитовые.

Все промышленные месторождения бериллия относятся к классу эндогенных. Наиболее важными являются типы: пегматитовый, полевошпатовых метасоматитов, грейзеновый, плутоногенный гидротермальный, вулканогенный гидротермальный (табл. 1.2.5).

Ниобий и тантал — близки по свойствам и всегда встречаются совместно. Ниобий используется для легирования сталей, производства суперсплавов для нефтяных и газовых трубопроводов, авиадвигателей, в судостроении, автомобильной промышленности и т. д. Тантал используется в электронике, для изготовления суперсплавов ядерных реакторов, космической техники.

Подтвержденные запасы Nb_2O_5 составляют 8,7 млн т; из них 4,3 млн т (49%) находятся в Бразилии; 4,1 млн т (46,8%) — в России; далее следуют Канада, Австралия, Уганда. Мировое потребление ниобия — 26,5 тыс. т. Основные производители — Бразилия (22 тыс. т), Канада (3,2 тыс. т). Главные потребители — США, Япония, Зап. Европа. Обеспеченность запасами — от 100 до 500 лет.

Подтвержденные запасы Ta_2O_5 оцениваются в 105 тыс. т; наибольшее их количество сосредоточено в Австралии, Бразилии, Китае, Канаде, Египте, Франции. Общий объем производства тантала в мире превышает 1800 т, из них 800 т получают из руд, 270 — из оловянных шлаков, остальное — вторичное производство. Основными поставщиками (из руд) являются: Австралия (50%), Бразилия (18%), Китай (7%). Обеспеченность запасами — 200 лет.

Из 108 минералов ниобия практическое значение имеют пирохлор, в меньшей степени — колумбит и лопарит. Из 47 минералов тантала промышленное значение имеют танталит, микролит, воджинит.

Крупными считаются месторождения ниобия с запасами более 500 тыс. т Nb_2O_5 , мелкими — с запасами менее 100 тыс. т. Для тантала порядок цифр иной:

крупными являются месторождения с запасами 10–15 тыс. т Ta_2O_5 , мелкими — 1–2 тыс. т. Богатые месторождения содержат более 0,4–0,5% Nb_2O_5 и 0,025 Ta_2O_5 ; бедные — 0,1–0,15% Nb_2O_5 и 0,012–0,015% Ta_2O_5 . Тантал значительно дороже, поэтому все месторождения условно разделяются на собственно ниобиевые ($Nb:Ta > 20:1$), тантало-ниобиевые ($Nb:Ta$ от 20:1 до 5:1) и танталовые ($Nb:Ta$ от 5:1 до 1:3).

Выделяются следующие геолого-промышленные типы: 1) магматический, 2) пегматитовый, 3) полевошпатовых метасоматитов, 4) карбонатитовый, 5) выветривания, 6) россыпной. Среди магматических месторождений выделяются: а) массивы лейкогранитового состава с вкрапленными оловянно-танталовыми рудами, б) лопоритоносные стратифицированные массивы агапитовых сиенитов и в) так называемые колумбитоносные граниты. Во всех этих типах редкие элементы концентрируются в акцессорных минералах, и, таким образом, рудными телами являются участки (или дифференциаты) пород, обогащенные акцессориями.

Пегматитовый геолого-промышленный тип представляют в основном месторождения тантала, на его долю приходится около 45% мировых запасов тантала. Это те же месторождения, в которых содержатся активные запасы лития, цезия, рубидия (табл. 1.2.5).

Тип полевошпатовых метасоматитов с тантало-ниобиевой минерализацией, в общем, близок кварц-альбит-микроклиновым метасоматитам с бериллием.

Карбонатитовый тип комплексных месторождений представляет собственно ниобиевые месторождения. Месторождения выветривания формируются в виде площадных и линейных кор на щелочных колумбитоносных гранитах (плато Джос), на танталоносных пегматитах и, наиболее богатые, на редкометально-карбонатитовых массивах. Размыв кор выветривания сопровождается иногда формированием делювиально-аллювиальных россыпей с колумбитом.

Цирконий и гафний. Цирконий используют в ядерных реакторах, для изготовления огнеупоров, керамики, спецстекла, сплавов; гафний находит применение в контрольной аппаратуре АЭС. Гафний получают как

попутный элемент из циркониевых концентратов. Подтвержденные запасы циркония — 63 млн т. Наибольшее количество их сосредоточено в Австралии (42,6 %), ЮАР (22,6 %), на Украине (9,5 %), в США (8,4 %), России (7,2 %). Ежегодное производство циркониевых концентратов (65 % ZrO) превышает 1 млн т. Первое место занимает Австралия (500 тыс. т), затем следуют ЮАР (260 тыс. т), США (125 тыс. т).

Промышленные минералы — циркон и бадделит. Основная масса (95 %) мировых запасов заключена в прибрежно-морских современных и мезокайнозойских россыпях с цирконом, рутилом, ильменитом, монацитом и др. Кроме этого, в качестве попутного компонента цирконий получают из бадделита при разработке карбонатитовых месторождений, редкометалльных щелочных гранитов, нефелиновых сиенитов (табл. 1.2.5).

Редкоземельные элементы (лантаноиды). В эту группу входят собственно лантаноиды: лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций и сходный с ними по геохимическим свойствам иттрий. Из лантаноидов только прометий получен искусственно. РЗЭ подразделяются на две группы: цериевую — от лантана до неодима и иттриевую — от самария до лютеция. Среди иттриевых выделяют три подгруппы: собственно иттрий, средние или промежуточные РЗЭ — от самария до эрбия, тяжелые — от тулия до лютеция.

РЗЭ имеют более 100 областей применения, это преимущественно высокотехнологичные, наукоемкие отрасли промышленности. Специальные сплавы, сверхмощные магнитные сплавы, катализаторы при крекинге нефти, кинескопы, люминофоры, лазеры — это и многое другое требует использования редких элементов. Они применяются как в чистом виде, так и в смесях.

Подтвержденные запасы РЗЭ — 100 млн т; в Китае 41 % мировых запасов, в России — 18, в США — 12, Австралии — 5,2, Индии — 1,1 %. Ежегодная добыча в пересчете на триоксиды составляет 80 тыс. т. Основные производители: Китай (до 60 %), США (25 %), Авст-

ралия, до недавнего времени Россия. Главные потребители: США, Китай, Япония, Россия. Темпы роста потребностей — 10–15 % в год. Обеспеченность экономики мировыми запасами оценивается в 1,5–2,0 тыс. лет. Россия обладает значительными запасами РЗЭ, однако руды большинства месторождений относятся к низкокачественным.

Реальное промышленное значение имеют 8 минералов. Бастнезит, монацит и лопарит содержат РЗЭ селективно или преимущественно цериевой группы и составляют основную долю добываемого сырья. Еще 4 минерала содержат РЗЭ преимущественно иттриевой группы: ксенотим, герчит, иттрросинхизит и браннерит. Один минерал — апатит — имеет комплексный переменный с преобладанием цериевой группы состав редких земель.

Месторождения — поставщики РЗЭ — разнообразны по генезису; основное промышленное значение имеют: 1) магматические, 2) скарновые, 3) карбонатитовые, 4) коры выветривания, 5) россыпные (табл. 1.2.5). Кроме этого, РЗЭ в качестве попутных компонентов извлекаются и из других типов месторождений. Месторождения подразделяются на три группы: 1) цериевоземельные ($TR_{Ce}:TR_Y > 15$); 2) иттриево-цериевоземельные ($TR_{Ce}:TR_Y = 7 - 15$); 3) иттриевоземельные ($TR_{Ce}:TR_Y < 7$). Цериевоземельные месторождения — это прежде всего бастнезитовые карбонатиты. Два уникальных месторождения — Баян-Обо (Китай) и Маунтин-Пасс (США) — располагают запасами, в сумме превышающими половину мировых запасов TR_{Ce} . Иттриево-цериевые месторождения представлены двумя типами: а) коры выветривания щелочно-ультраосновных карбонатитовых массивов (пример — Араша, Бразилия) и б) прибрежно-морские ильменит-рутил-цирконовые россыпи с монацитом. Иттриевоземельные месторождения относятся к трем типам: а) редкометалльные щелочные граниты с ксенотимом; б) коры выветривания гранитов с ионно-сорбированными РЗЭ; в) обогащенные РЗЭ ураноносные конгломераты.

В России главные объекты представлены месторождениями двух типов: а) лопоритоносные стратифи-

цированные нефелиновые сиениты; б) апатит-нефелиновые сиениты.

Группа рассеянных элементов включает: Sc, Ge, Re, Tl, Ga, Cd, In, Se, Te. Эти элементы в большинстве своем используются в высокотехнологических областях. Общей особенностью их является то, что, за редким исключением, они не образуют собственных руд и собственных месторождений. Даже собственные минералы большинства этих элементов относятся к числу редких. Промышленным источником их являются не руды, чаще всего даже не концентраты (как для многих попутных компонентов), а полупродукты и отходы металлургического производства: они извлекаются из шламов, кеков, пылей, вельц-окислов и др. Наибольшее количество рассеянных элементов получают из отходов переработки сульфидных руд: медно-никелевых, медно-порфириновых, колчеданных, медистых песчаников, полиметаллических и др. Помимо этого, скандий и галлий получают при переработке бокситов; оловянные, вольфрамовые, молибденовые, редкоземельные, урановые руды служат источником скандия, рения, индия и др. Из золы углей можно извлекать германий, рений, скандий и др. Многие типы фосфоритов бывают обогащены редкими элементами в концентрациях, достаточных для их извлечения.

Месторождения благородных металлов

К группе благородных металлов относятся золото, серебро и металлы платиновой группы — платина, палладий, иридий, родий, рутений и осмий. Они обладают химической стойкостью и красивым внешним видом в изделиях, что обусловило название этой группы и области применения перечисленных металлов.

Золото. Подавляющая часть добытого золота (32,5 тыс. т — 23 % от всего добытого в мире золота) хранится в ведущих центральных банках мира в качестве золотых резервов, в том числе в США (более 8 тыс. т), Германии, Франции и Международном валютном фонде (более 3 тыс. т), Швейцарии и Италии (более 2 тыс. т). С глубокой древности золото применяется для изготовления ювелирных изделий и чеканки монет, а в насто-

ящее время широко используется в базовых отраслях промышленности, включая оборонную.

Мировые запасы золота составляют около 55 тыс. т. Наиболее крупными запасами металла обладают ЮАР, США, Россия, Австралия, Индонезия и Канада. В России запасы золота учтены в 372 коренных месторождениях, из которых 249 являются собственно золотыми, остальные — комплексными, а также более чем в 5000 россыпных месторождений.

Ежегодная мировая добыча золота составляет около 2500 т. Ведущие производители — ЮАР, США, Австралия и Китай. Россия находится на пятом месте в мире (около 200 т).

Минерально-сырьевая база золотодобывающей промышленности складывается собственно золотыми месторождениями (коренными и россыпными) и комплексными золотосодержащими месторождениями.

Коренные месторождения золота с запасами металла более 1000 т относятся к уникальным; весьма крупные месторождения имеют запасы 100—1000 т, крупные — 100—400 т, средние — 25—100 т, мелкие — менее 25 т. По содержанию золота (г/т) руды подразделяются на богатые — 10—30, иногда до 50, рядовые — 3—6 до 10, бедные — 2—3 и ниже. В промышленности используют руды с низким содержанием золота (1—2 г/т и иногда 0,5—1,0 г/т), если целесообразность переработки обоснована, как, например, в случае использования высокорентабельной технологии кучного выщелачивания.

По крупности частиц золота (мкм) в рудах выделяют: крупное — 70, мелкое — 70—1, тонкодисперсное — 1—0,1, субмикроскопическое — 0,1—0,01 и менее. По фазовому состоянию выделяют золото: свободное; в сростках с кварцем, карбонатами и другими минералами; тонковкрапленное в сульфидах (пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит и др.), труднообогащаемое (упорное); тонковкрапленное в породообразующих минералах (кварц, алюмосиликаты и др.).

Благодаря своим геохимическим свойствам золото образует промышленные концентрации в месторождениях различной генетической принадлежности. Коренные месторождения подразделяются на собственно золотые, удельная стоимость золота в которых превы-

шает 50 %, и на комплексные золотосодержащие, в которых золото является попутным компонентом.

Геолого-промышленные типы собственно золотых коренных месторождений представлены тремя группами месторождений: в углеродисто-карбонатно-терригенных комплексах складчатых систем; в вулканогенно-интрузивных ассоциациях вулканоплутонических поясов и зон тектоно-магматической активизации; в вулканогенно-осадочных толщах и гранитоидах эвгеосинклинальных зон.

Преобладающая часть запасов (более 50 %) коренного золота в России сосредоточена в месторождениях углеродисто-карбонатно-терригенных комплексов, представленных двумя геолого-промышленными типами: золото-сульфидным и золото-кварцевым.

Месторождения золото-сульфидного типа представлены залежами вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд, локализованными в углеродсодержащих толщах, которые рассматриваются в качестве продуктивных геологических образований. На рудных полях часто присутствуют дайки пестрого состава. Эти месторождения представлены объектами различного масштаба — от мелких до уникальных. К ним относятся российские месторождения: Майское, Олимпиадинское, Нежданнинское, Сухой Лог.

Месторождения золото-кварцевого типа (Ветренское, Каральвеем, Советское, Дуэт, Бриндакит в России, Бендиго в Австралии) размещаются в гетерогенных комплексах (терригенные, часто ритмичные слоистые толщи, филлитовидные сланцы и гнейсы разного состава) вне ассоциации с гранитоидами. Морфология рудных тел — жилы, в том числе седловидные, системы сближенных жил, жильно-прожилковые зоны. По масштабам месторождения ранжируются от мелких до уникальных.

Месторождения вулканоплутонических поясов представлены золото-серебряным геолого-промышленным типом. Месторождения сопряжены с риолит-трахириолитовой, риолитовой формацией, либо с андезит-базальт-диоритовой и риолит-гранитной вулканоплутонической ассоциацией и локализуются в жерловых и околожерловых зонах локальных вулканотектониче-

ских структур центрального типа, в вулканотектонических грабенах и вулканокупольных структурах. Рудные тела представлены жилами, жильно-прожилковыми зонами, штокверками и телами трубообразной и неправильной форм. До 70–80 % металла концентрируется в рудных столбах. По масштабам запасов золота и серебра встречаются объекты от мелких до уникальных. Типичные представители месторождений этого типа: Карамкен, Хаканджа, Многовершинное, Джульетта в России, Крипл-Крип, Сильвертон, Комшток в США.

Месторождения вулканогенно-осадочных и интрузивных комплексов относятся к золото-сульфидно-кварцевому, золото-скарновому и золото-порфиоровому геолого-промышленным типам. Они ассоциируют с гранитоидами (адамелит-плаггиогранитная, тоналитгранодиоритовая, габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формации), комплексами малых интрузий и даек пестрого состава. Месторождения локализуются в массивах продуктивных гранитоидов, их экзоконтактах, а также в вулканогенно-осадочных и терригенно-карбонатных комплексах вмещающих пород.

Рудные тела представлены жилами, жильными и жильно-прожилковыми зонами, штокверками, гнездами, залежами сложной морфологии и зонами прожилково-вкрапленной минерализации. По масштабам это мелкие, средние, реже — крупные объекты. Типичными примерами месторождений золото-сульфидно-кварцевого типа являются Березовское, Кочкарское, Школьное (Россия), Степнякское (Казахстан), золото-скарнового — Синюхинское, Натальевское (Россия), Никел-Плейт (Канада), золото-порфиорового — Васильковское, Юбилейное (Казахстан), Форт-Нокс (США).

Около половины мировых запасов и 40 % добычи металла сосредоточены в месторождениях, связанных с докембрийскими золотоносными конгломератами (Витватерсранд в ЮАР; Тарква в Гане; Жакобина в Бразилии и др.) и архейскими зеленокаменными поясами (Хемло, Керкленд-Лейк в Канаде; Колар в Индии; Хилл — 50, Биг-Белл в Австралии и др.).

За последние 10–20 лет мировые ресурсы золота значительно увеличились за счет месторождений зо-

лотоносных кор выветривания и окисленных руд, на долю которых приходится около 2 % запасов золота мира и 3,5 % России. Этому способствует привлечение новейших технологий извлечения золота из лотоносных кор выветривания, в том числе из крупнообъемных месторождений со сравнительно низким содержанием металла. Выделяются два основных геолого-промышленных типа месторождений лотоносных кор выветривания: месторождения глинистых кор выветривания по прожилково-вкрапленным золото-сульфидным и золото-кварц-сульфидным рудам с запасами золота от первых тонн до 50–60 т (Воронцовское, Олимпиадинское, Светлинское и др. в России), месторождения латеритных кор выветривания по прожилково-вкрапленным золотым и золотосодержащим рудам с запасами металла от первых тонн до 100–150 т (Бодингтон в Австралии, Мату-Гроссу, Сера-Пелада и др. в Южной Америке).

Россыпные месторождения золота по величине запасов (т) подразделяют на уникальные — более 50, весьма крупные — 5–50, крупные — 1–5, средние — 0,5–1, мелкие — менее 0,5. Среднее содержание золота в разрабатываемых россыпных месторождениях близко к 100 мг/м³. Несмотря на значительное истощение ресурсов золотых россыпей, их доля в добыче золота в России до сих пор весьма существенна и составляет порядка 50 %.

Ведущим геолого-промышленным типом золото-россыпных месторождений являются аллювиальные россыпи, в которых сосредоточено около 90 % всех запасов россыпного золота России (Догадцын, Омчак, Берелех и др.).

Разрабатываются также прибрежно-морские россыпи (пляжевые, подводно-берегового склона, дельтовые и др.).

Широко распространены гетерогенные россыпи — пролювиальные, ложковые, склоновые, аллювиально-карстовые и др.

Техногенные россыпи возникают в результате неполной отработки и извлечения золота и состоят из остаточных целиков и отвального комплекса, образующегося при отработке россыпей. Промышлен-

ное содержание золота в них обусловлено потерей металла за счет несовершенства технических средств извлечения золота, а также нарушений технологических процессов.

Серебро широко применяется в фотографии, электронике, электротехнике, точном приборостроении, ракетостроении, ювелирном деле, изготовлении медалей и медальонов. За серебром также сохраняется роль второго валютного металла.

Мировые запасы серебра составляют около 550 тыс. т. Наиболее крупными запасами обладают Россия, США, Польша, Мексика, Китай, Канада. В России запасы серебра учтены в 256 месторождениях, в том числе в 12 собственно серебряных.

Ежегодная мировая добыча серебра составляет около 15 тыс. т в год; в России добывается около 1,5 тыс. т металла.

Месторождения серебра разделяются на собственно серебряные, удельная стоимость серебра в которых превышает 50 %, и комплексные серебросодержащие. Комплексные месторождения по запасам и особенно по мировой добыче серебра играют ведущую роль. Определяющее значение имеют медно-порфиновые, свинцово-цинковые (колчеданно-полиметаллические и свинцово-цинковые стратиформные), серебро-оловянные месторождения, характеризующиеся крупными запасами и масштабами добычи и низким содержанием серебра.

По масштабам запасов среди собственно серебряных месторождений выделяют месторождения уникальные — более 10 000 т серебра, крупные — 2000–10 000, средние — 500–2000, мелкие — менее 50 т. Содержание серебра в собственно серебряных рудах обычно составляет 200–400 г/т, иногда — до килограмма — первых десятков килограммов на тонну, в комплексных месторождениях это значение может быть существенно ниже — до 50–60 г/т. При переработке золото-серебряных руд промышленное значение этот металл имеет даже при содержании менее 1 г/т.

Ведущим геолого-промышленным типом собственно серебряных месторождений является золото-серебряный. Месторождения характеризуются крупными

масштабами (Дукатское, Уннейваямское в России, Пачука, Гуанохуато в Мексике) и связаны с риолитовыми, андезит-риолитовыми и гранит-порфировыми формациями вулканоплутонических поясов. Основным морфологическим типом рудных тел являются минерализованные зоны дробления и линейные штокверковые зоны протяженностью 1200–1000 м и мощностью 3–30 м сложного строения, включающие жилы и жильные зоны. На некоторых месторождениях (Актепе в Узбекистане, Архарлы в Казахстане) преобладают жильные типы рудных залежей.

Месторождения минерализованных и прожилково-жильных зон в терригенных и терригенно-карбонатных комплексах приурочены к мощным песчано-сланцевым и карбонат-сланцевым ритмично-слоистым толщам. Рудные тела представляют собой круто- и пологозалегающие зоны прожилково-вкрапленной минерализации, иногда со стержневыми жилами и по простиранию прослеживаются на сотни метров — первые километры; мощность изменяется от первых метров до 20–80 м. По масштабам это средние и крупные объекты. Руды этих месторождений относятся к золото-серебряным (Высоковольтное, Косманачи в Узбекистане) и полисульфидно-серебряному типам (Прогноз, Мангазейское в Якутии, Асхатин в Монголии).

Среди других менее распространенных типов собственно серебряных месторождений следует отметить месторождения штокверковых прожилково-вкрапленных руд в вулканогенных породах вулканоплутонических поясов (Большой Канимансур в Таджикистане, Реаль-Лос-Анхелес в Мексике, Деламар в США). Месторождения характеризуются большими объемами низкосортных руд, пригодных к отработке открытым способом с минимумом подготовительных работ.

Металлы платиновой группы (МПГ) применяются как катализаторы в электротехнической, нефтехимической, автомобильной, медицинской отраслях промышленности, при производстве химической аппаратуры и антикоррозийных покрытий, а также в ювелирном деле.

Мировые запасы платиноидов — около 50 тыс. т. Наиболее крупными запасами обладают ЮАР, Россия,

Канада, США. Запасы МПГ в России, превышающие одну седьмую часть мировых, учтены в 103 коренных и россыпных месторождениях.

Мировая ежегодная добыча платиноидов превышает 370 т, в том числе Россия добывает около 150 т. Как за рубежом, так и в России основной источник МПГ — руды магматогенных месторождений: 99,7 % мировых запасов и 99,5 % мировой добычи. Несравнимо меньшую роль играют россыпные месторождения платиноидов (россыпи Платиноносного пояса Урала, Кондорская, Гальноэнапские в России, Чоко в Колумбии, Туламин в Канаде, Сэлмон на Аляске и др.), на долю которых приходится около 0,1 % запасов и добычи металлов за рубежом. Доля металлов, добываемых из россыпей, в России составляет около 8 % от общего отечественного производства. В небольших количествах МПГ производятся из золотых, медно-порфировых, ванадий-титановых и других типов платиносодержащих руд, возможность извлечения платиноидов из которых определяется технологией переработки.

В России подавляющее количество платиноидов добывается из платиноносных руд медно-никелевых месторождений дифференцированных интрузивов габбро-долеритовой формации, охарактеризованных выше. За рубежом основная масса МПГ извлекается из палладиево-платиновых (платино-палладиевых) месторождений расслоенных массивов перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации. В России эксплуатируемых месторождений этого геолого-промышленного типа нет, но перспективы их открытия велики.

Месторождения палладиево-платинового (платинопалладиевого) геолого-промышленного типа обладают уникальными (десятки тысяч тонн) запасами, а их разведанные запасы составляют основу мировой минерально-сырьевой базы платиноидов (более 70 % общих запасов). Они приурочены к расслоенным мафит-ультрамафитовым массивам в областях тектоно-магматической активизации чехла и фундамента протоплатформ и представляют собой сульфидосодержащие, иногда хромитсодержащие платиноносные горизонты или так называемые рифы, в переходной от ультрама-

фитов к габброидам части разреза массивов. Рудные тела месторождений — пластовые и пластообразные залежи длиной по простиранию от 5 км до десятков километров, мощностью от 0,1 до 4 м (риф Меренского в Бушвельдском массиве, ЮАР; Стиллоутер, США; Хартли, Зимбабве), линзовидно-столбообразные и гнездообразные с длиной по простиранию от десятков метров до 1,5 км и мощностью 2 — 400 м (Лак-дез-Иль в Канаде, рудопоявление Луккулайсваара в России) и линзовидно-пластовые, имеющие длину по простиранию от 0,3 до 3 км и мощность 3 — 200 м (Сэндслот, ЮАР, Федоровотундровское, Россия). Среднее содержание суммы МПП колеблется от 1,5 до 20 г/т.

Месторождения радиоактивных металлов

В группу радиоактивных элементов, имеющих промышленное значение, входят уран, торий, радий. Ниже рассматриваются геолого-промышленные типы урановых месторождений.

Уран в промышленных целях стал использоваться с конца 40-х годов прошлого века. Развитие ядерного оружия обусловило высокий спрос на уран в самом начале развития атомной энергетики. Потребности в уране подвержены существенным колебаниям; они определяют колебания цен на него. Резкое увеличение цен (до 100 долл./кг) отмечено в годы активного наращивания атомного оружия (1978 — 1980 гг.). С 1985 г. наступает относительная стабилизация цен на низком уровне — от 20 до 40 долл./кг.

Производство урана за последние годы, начиная с 1988 г., систематически снижается и в настоящее время уже не обеспечивает все возрастающие потребности атомной энергетики. Его мировое производство из природных объектов в 2000 г. составило 36 тыс. т. На 1 января 2001 г. в мире работало 438 блоков АЭС; потребность топлива в пересчете на природный уран составила 63 233 т. Более чем по 1000 т потребляли 12 стран, а более 2000 т — 8 стран. Наиболее высокие потребности у США — 20 570 т, что составляет 32,5 % от мирового уровня. Потребности России выражаются

цифрой 9170 т, но сюда входит доля экспорта в некоторые страны СНГ и Восточной Европы. Далее следуют Франция (8879 т), Япония (7500 т), Южная Корея (3400 т), Германия (3350 т), Великобритания (2250 т). Для покрытия недостатка в природном уране, кроме расширения его сырьевой базы, используются складские запасы. Дефицит между спросом и производством, который покрывается складскими запасами, остается значительным (около 50 %).

Существующий дефицит может быть снижен за счет российского оружейного высокообогащенного урана, который перерабатывается в низкообогащенный. Его производство в ближайшие годы оценивается в 8 тыс. т в пересчете на природный уран.

По данным на 01.01.2002 г., разведанные запасы урана стоимостной категории до 80 долл./кг оцениваются в 2500 тыс. т. Наиболее крупными запасами (более 100 тыс. т) владеют 8 стран: Австралия — 667; Казахстан — 433; Канада — 314,5; ЮАР — 231; Бразилия — 162; Намибия — 144; Россия — 138; США — 104.

Наиболее крупными производителями урана являются: Канада, Австралия, Нигер, Намибия, Россия, Узбекистан, Казахстан, США, Украина, ЮАР.

В России в настоящее время действует только одно предприятие, добывающее уран, — Приаргунское производственное горно-химическое объединение, разрабатывающее Стрельцовскую группу месторождений в Читинской области.

К крупным относятся месторождения урана с запасами более 10 тыс. т, к мелким — менее 1 тыс. т. Из более чем 100 урановых минералов наибольшее промышленное значение имеют уранинит (настуран, урановая смолка) и его аморфная разновидность — урановая чернь. В различных типах руд присутствуют также браннерит, давидит, ураноторит, уранофан, коффинит, отенит, торбернит, карнотит.

Урановые месторождения весьма разнообразны по условиям залегания, обстановкам локализации руд, генезису. Наибольшее значение в экономике имеют месторождения четырех геолого-промышленных типов: 1) тип «несогласия» — дает более 40 % добычи; 2) «песчаниковый» тип — 24,5 %; 3) медно-золотой и золотой с

попутной добычей урана — 13,6 %; 4) жильно-штокверковый тип — 10,8 %.

Классические месторождения типа «несогласия» распространены в канадской провинции Атабаска. В районе месторождений на сильно дислоцированных раннепротерозойских гнейсах с резким несогласием залегают позднепротерозойские песчаники формации Атабаска. Рудные тела, приуроченные к этому контакту, располагаются вдоль него в песчаниках в виде линз. Корни тел в виде крутопадающих жилообразных апофиз уходят в породы гнейсового фундамента. В составе первичных руд — настуран, коффинит, а также галенит, сфалерит, халькопирит, минералы кобальта и никеля. Среднее содержание урана — 1,47 % (в канадских месторождениях), 0,24 (в австралийских). Запасы месторождений — от десятков до сотен тыс. т. Месторождения Мидуэст-Лейк, Раббит-Лейк, Ки-Лейк и др. (Канада), Джабилука (Австралия).

Месторождения «песчаникового» типа широко распространены в урановорудной провинции Вайоминг (США). Многочисленные урановые месторождения пластово-инфильтрационного типа локализованы в меловых и палеоген-неогеновых песчано-глинистых отложениях, толщи которых залегают почти горизонтально. Это одни из наиболее крупных по запасам и добыче месторождения, они отличаются причудливой формой рудных тел (ролловой, серповидной, в плане лентовидной), сформированных в результате фильтрации пластовых артезианских вод, отлагавших растворенный выщелоченный уран и сопутствующие ему компоненты на восстановительном «геохимическом барьере». В составе руд преобладают настуран и коффинит. Среднее содержание урана — 0,03–0,15 % (эти руды разрабатываются методами подземного выщелачивания). Более богатые руды с содержанием 0,2–0,3 % разрабатываются горным способом. Глубина залегания рудных тел — от нескольких метров до 300 м. Крупнейшие месторождения провинции: Шерли-Бейсин, Гэз-Хилс, Саут-Хилс, Норт-Хилс, месторождения бассейна Паудер-Ривер, Хайленд и др. К этому типу относятся среднеазиатские месторождения Кызылкумского района и другие.

В третью группу объединены месторождения, известные под названием «золотоносных конгломератов», кратко охарактеризованные выше (см. золоторудные месторождения), и уникальное месторождение Олимпик Дам (Австралия), относящееся, по некоторым данным, к типу «медистых песчаников», содержащее грандиозные запасы меди, урана, золота и серебра.

Месторождения жильно-штокверкового типа — довольно разнообразные объекты эндогенной серии. Они представлены гидротермальными вулканогенными, плутоногенными и метасоматическими образованиями. Сюда могут быть отнесены альбититовые месторождения Украинского кристаллического щита, жильно-штокверковые месторождения Кокчетавского рудного района и месторождения Стрельцовского рудного поля. Последние приурочены к крупной кальдерообразной структуре — депрессии, возникшей на жестком гранитном основании. Вулканогенно-осадочные породы, выполняющие депрессию, мощностью около 1000 м, сложены лаво-пирокластическими образованиями андезитового состава, туфами, экстрезивными риолитами, игнимбритами, туфопесчаниками и т. д. Преимущественно среди туфов развиты оруденелые штокверковые зоны и послойные залежи. Оруденение охватывает интервал 500–700 м. Руды малосульфидные коффинит-настурановые и сульфидно-настурановые с галенитом и молибденитом.

1.3. Геолого-промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых

К неметаллическим полезным ископаемым относят минералы и горные породы, не являющиеся источником металлов и не представляющие собой углеводородные виды минерального топлива. Неметаллические полезные ископаемые чрезвычайно разнообразны, и области применения их в народном хозяйстве необыкновенно широки.

Исходя из основных свойств и главных направлений применения в промышленности неметаллические

полезные ископаемые условно подразделяются на три группы (Карякин и др., 1985).

1. Химическое и агрономическое сырье: минеральные соли; фосфатное сырье (апатиты и фосфориты); сера; бор.
2. Индустриальное сырье: драгоценные, поделочные и технические камни (алмаз, рубин, изумруд, гранаты, агат, яшмы); графит; слюды (мусковит, флогопит); асбесты; тальк и тальковый камень; магнезит и брусит; пьезооптический кварц; исландский шпат; флюорит; барит и витерит; цеолиты и др.
3. Минеральные строительные материалы и сырье для их производства: керамическое сырье (пегматиты, фарфоровый камень, высокоглиноземистые силикаты, волластонит); глины и каолины; песок и гравий; карбонатные породы; гипс и ангидрит; активные минеральные добавки (диатомиты, трепелы, опоки, трассы, пуццоланы); породы для получения легких строительных материалов (шунгит, перлит, вермикулит); породы для каменного литья; естественные строительные камни.

Ниже приводится краткая характеристика некоторых геолого-промышленных типов месторождений неметаллических полезных ископаемых. Подробные сведения о промышленных типах и месторождениях неметаллических полезных ископаемых содержатся в специальных курсах (Романович, 1986; Еремин, 2007).

Химическое и агрономическое сырье

Фосфатное сырье. Месторождения фосфатов представлены двумя главными типами руд — апатитовыми и фосфоритовыми.

Фосфориты — осадочные породы, существенную часть которых составляют фосфаты — преимущественно фторкарбонат-апатит-франколит. Среди них различают оолитово-микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные, галечниковые, выветрелые переотложенные и другие разновидности. Содержание P_2O_5 колеблется от 5–10 % в очень бедных рудах, до 28–

32 % и более в богатых и очень богатых рудах. На долю фосфоритов приходится большая часть добываемого фосфатного сырья (80 %).

В мировом балансе запасов резко преобладают зернистые фосфориты (свыше 60 %), характеризующиеся высоким содержанием P_2O_5 (23–32 %). Они сложены округлыми фосфатными зернами размером от 0,1 до 10 мм, сцементированными скрытокристаллическими фосфатами, кварцем, халцедоном, кальцитом. Им свойственны попутные уран и ванадий. Наиболее широко месторождения этого типа развиты в верхнемеловых палеогеновых формациях Североафриканской провинции.

Микрозернистые фосфориты (P_2O_5 — 21–28 %) сложены фосфатными оолитами. Содержат примеси фтора, ванадия. Месторождения типичны для древних фосфоритоносных бассейнов — Скалистых гор (США), Каратауского (Казахстан).

Желваковые фосфориты состоят из конкреций, стяжений фосфатного вещества в глауконит-кварцевых песках, глинах, аргиллитах. Содержание P_2O_5 в желваках — 16–22 %. Наиболее широко они развиты в платформенных терригенных глауконитовых формациях Восточно-Европейской платформы (Егорьевское месторождение).

Апатиты. Среди апатитовых месторождений наибольшее промышленное значение имеют магматические, карбонатитовые, а также месторождения кор выветривания по карбонатитам. По минеральному составу апатитовые руды подразделяются на силикатно-оксидные, силикатные, карбонатно-силикатные, карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. Содержание P_2O_5 — от 4 % в убогих рудах до 16 % и более — в богатых. Наиболее легко обогащаются силикатные (апатит-нефелиновые) руды, наиболее трудно — карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. Среди магматических месторождений выделяют: а) месторождения апатитовой формации, связанные с габбро-сиенитовыми массивами; б) месторождения апатит-нефелиновой формации, связанные с интрузиями апатитовых нефелиновых сиенитов; в) месторождения апатит-магнетитовой (апатит-титаномagnetитовой) формации, связанные с

габбро-сиенитовыми, габбро-пироксенит-дунитовыми и габбро-анортозитовыми комплексами.

Карбонатитовые месторождения приурочены к plutонам центрального типа ультраосновных щелочных пород.

подавляющая часть (90 %) фосфатного сырья — и фосфоритовых, и апатитовых руд — используется для получения фосфатных и комбинированных минеральных удобрений: суперфосфата, двойного суперфосфата, преципитата, аммофоса, нитрофоса и др. Остальное идет на производство фосфора и фосфорной кислоты, используемых для получения разнообразных химических соединений, необходимых в металлургии, пиротехнике, органическом синтезе, керамической промышленности.

Характеристика основных геолого-промышленных типов фосфатных месторождений приведена в табл. 1.3.1.

Сера. В природных условиях сера находится как в виде различных соединений — сульфатов, сульфидов и др., так и в самородном состоянии. Самородная сера бывает кристаллической и аморфной. Обычно она содержит изоморфные примеси Se, Te, As, Tl, а также механические примеси глинистых минералов, гипса, органических веществ и др. Значительные количества серы в виде сероводорода, сернистого ангидрита и других органических и неорганических соединений находятся в вулканических газах, водах минеральных источников, в сырой нефти и природном газе.

подавляющая часть серы (около 80 %) используется в химической промышленности при производстве серной кислоты, необходимой для получения фосфорных удобрений. Серная кислота используется при переработке урановых руд для получения ряда других кислот, красителей, пластмасс. В нефтяной промышленности ее применяют для очистки нефтепродуктов. В элементном виде сера используется в резиновой, бумажной, текстильной промышленности, для производства взрывчатых веществ, спичек, в пищевой промышленности и т. д.

Ежегодно в мире получают около 50 млн т серы — 33 % за счет переработки нефти и природного газа,

Таблица 1.3.1

Геолого-промышленные типы и примеры фосфатных месторождений

Название	Геолого-промышленный тип	Форма залежей	Состав руд	Вмещающие породы	Содержание P ₂ O ₅ , %
Хурибга (Марокко)	Осадочные руды формируются в зернистых фосфоритов (K ₂ -P ₂)	Пласты мощностью от 2 до 6 м	Фосфорит-апатитовые зерна в глинистом цементе	Известняки, мергели, прослои и кремний	34,8-35,1 U ₂ O ₅ — 0,01-0,02
Карауау бассейна (Казахстан)	Осадочные руды формируются в осолитово-микросернистых фосфоритов (S)	Пластовые залежи мощностью до 20 м	Фторкарбонат-апатитовые фосфоритовые осолиты в фосфатно-карбонат-кремнистом цементе	Кремнистые фосфатно-глинистые сланцы, карбонатно-глинистые породы	Богатые руды — 28,7 бедные — 23-28,7 — 15-23 фосфатно-кремнистые — 10-15 В желваках — от 7 до 27,5
Егорьевское (Россия)	Осадочные руды формируются в желваковых фосфоритах (J-К)	Пластовые залежи мощностью до 2,5 м	Фосфатные желваки в глинисто-кварцевом песке	Кварцево-глинистые пески, глины	Средн. — от 13 до 19 %
Хибинский бассейн (Кольский п-ов, Россия)	Апатит-нефелиновая формация в нефелиновых сиенитах	Пластовые залежи в стратифицированном массиве	Апатит (20-45%), нефелин (20-45%), эрипирин (5-20%), сфен (1-1,8%), титаномангнетит (0,5-5%)	Комплекс идиолит-уртитов: уртиты, идиолиты, мельтегиты, якупирангиты, говиты, дулуриты и др.	Средн. — 10,4
Белая Зима (Россия)	Кора выветривания апатит-редкометаллических карбонатитов	Плащевидные залежи мощностью от 10 до 100 м (средн. 32 м)	Охристые руды, сыпучие с фторанатитом и фторанатитом	Подстилают — карбонатиты, нефелин-сиениты и др. Перекрывают — аллювиальные и делювиальные породы	Средн. — 10,4

30 % — из месторождений самородной серы, 14 % — из газовых выбросов металлургических заводов, 16 % — при переработке сульфидов, 6 % — из сульфатов.

Месторождения самородной серы являются одним из важнейших источников ее получения. Мировые запасы самородной серы, а также серы нефтяных и газовых месторождений оцениваются в 1,4 млрд т. Добыча серных руд ведется в открытых и подземных горных выработках, а также путем подземной выплавки (ПВС). В последнем случае в серные залежи по скважинам закачивается под давлением перегретая вода (150–160 °С), которая расплавляет серу (температура плавления серы 114–119 °С) и выносит в расплавленном виде на поверхность.

Содержание серы колеблется от 5–12 % в бедных рудах до 25 % и более — в богатых.

Ведущими промышленными типами месторождений самородной серы являются стратиформный (60 % добычи), солянокупольный (35 %) и вулканогенный (5 %).

Стратиформные месторождения связаны с эвапоритовыми сульфатно-карбонатными толщами. Рудные тела в виде пластовых и пластообразных залежей мощностью до десятков метров и протяженностью до сотен метров залегают среди сульфатных пород или в толщах переслаивания сульфатных и карбонатных пород. Месторождения этого типа известны в Прикарпатье, США, Ираке, в Среднем Поволжье и др.

Солянокупольный тип широко развит в зоне Мексиканского залива на территории США и Мексики. Серные залежи приурочены к кепрокам соляных куполов, где ассоциируют с залежами нефти и газа.

Вулканогенные месторождения связаны с молодыми и современными наземными вулканами и формировались в посткальдерную стадию развития вулканов при гидротермальной переработке андезитовых толщ сернокислыми водами и газами. Рудные тела пластообразной, линзовидной формы, штокверки сложены сернистыми кварцитами, опалитами, алунидами. Содержание серы может достигать 40 %. Практически все промышленные месторождения этого типа расположены в пределах Тихоокеанского вулканического пояса.

Бор. Бор применяется более чем в ста отраслях промышленности и сельского хозяйства. Более половины сырья потребляют стекольная и керамическая промышленности, 15–30 % идет в мыловарение и производство отбеливающих средств; в небольших количествах бор используется в медицине, металлургии, химической промышленности. Ежегодно в мире добывается около 3,3 млн т борного сырья, более 90 % дают Турция и США, остальное — Россия, Аргентина, Китай и др. В природе известно около 160 минералов бора, основное промышленное значение имеют бораты и боросиликаты — датолит, данбурит. Главнейшие типы месторождений: скарновый, вулканогенно-осадочный, галогенный. Скарновые месторождения связаны со щелочным магматизмом и представлены пластообразными и линзовидными залежами, метасоматически замещившими карбонатные породы. Вулканогенно-осадочные месторождения образуются в контрастных вулканогенных формациях наземных калиево-щелочных серий. Согласно залегающие пластовые и линзовидные тела сложены вулканогенно-соленосно-глинистым материалом, содержащим большое количество боратов и межкристальной борсодержащей высокоминерализованной рапы. Месторождения галогенного типа (галогенно-осадочные и галогенно-остаточные) образованы в эвапоритовых соляных толщах в виде пластовых, линзовидных, гнездообразных залежей (табл. 1.3.2).

Индустриальное сырье

Алмазы. Алмаз является кубической модификацией самородного углерода; очень плотная упаковка атомов обуславливает его исключительно высокую твердость и жесткость. Плотность алмаза — 3,513 г/см³, температура плавления — 3700–4000 °С, температура сгорания на воздухе — 850–1000 °С; при нагревании до 1200–1500 °С без доступа воздуха алмаз переходит в графит. В импактитах и метеоритах встречается редкая мелкокристаллическая гексагональная модификация углерода — разновидность алмаза — лонсдейлит.

Алмазы встречаются в виде кристаллов (чаще всего октаэдры и ромбододекаэдры) и бывают бесцветны-

Таблица 1.3.2
Основные геолого-промышленные типы месторождений и районы добычи бора

№	Название	Геолого-промышленный тип	Форма залежей	Главные минералы	Вмещающие породы
1.	Дальнегорское, Россия	Скарновый	Пластовая	Датолит, данбуриг, гранаты, пироксен, волластонит	Алевролиты, песчаники, известняки триасового возраста
2.	Ташженое, Россия	Магнезиально-скарновый	Пластообразная линзовидная	Людвигит, ашарит, магнетит	Магнетитовые руды, скарнированные кристаллические сланцы и гнейсы
3.	Оз. Серлз, месторождения солей, США	Галогенно-осадочный	Пластовые залежи	Бораты и борсодержащая рапа	Континентальные эвапоритовые осадки
4.	Крамер (Борон), США	Вулканогенно-осадочный	Пластовая	Бура, кернит, тинккалонит	Вулканогенно-осадочная толща
5.	Кырка (Сарикайя), Турция			Бура, кернит	Карбонатно-глинистые осадочные отложения

ми или окрашенными в бледные цвета (голубоватые, желтоватые, зеленоватые). Различают ювелирные и технические алмазы. К ювелирным относятся крупные прозрачные или слабо окрашенные кристаллы с присущим им сильным алмазным блеском, не имеющие дефектов (трещин, включений и т. д.). Специально ограненные ювелирные алмазы называются бриллиантами.

В основном добываются алмазы массой от 0,1 до 1,0 кар (карат равен 0,2 г). Крупные кристаллы (более 100 кар) встречаются редко. Стоимость ювелирных необработанных алмазов достигает 275 долл. за карат, самые низкокачественные стоят на два порядка меньше. Наиболее выдающимся по массе и красоте камням присваивают имена, они пользуются мировой известностью.

Самый крупный в мире алмаз «Куллинан» был найден в Ю. Африке в 1905 г., это был обломок кристалла длиной 10, высотой 6,5 и шириной 5 см, массой 3106 кар. После распиловки из него было получено 105 бриллиантов общей массой 1063,65 кар: «Звезда Африки» — 530,2 кар, «Куллинан-II» — 317,4 кар и др.

Другие крупные алмазы: «Эксцельсиор» найден в ЮАР, масса 971,5 кар, изготовлен 21 бриллиант общей массой 373,75 кар; «Кох-и-Нур» найден в Ю. Индии, масса 800 кар; «Звезда Сьерра-Леоне», масса 969,9 кар.

Кроме этого известно еще 10 — 15 наиболее крупных камней массой от 200 до 970 кар.

Наиболее крупными и ценными историческими бриллиантами России являются Орлов (вставленный в золотой скипетр) массой 189,62 кар и Шах — 88,7 кар.

Большая часть добываемых алмазов приходится на долю технических сортов, среди которых различают борт, баллас, карбонадо и конго. Борт — мелкие кристаллы неправильной формы и сростки. Баллас — шарообразные мелкозернистые агрегаты, оболочка которых более твердая, чем ядро. Карбонадо — черные, серые, зеленовато-серые тонкозернистые пористые агрегаты алмазных зерен. Конго — наиболее низкосортные мелкие алмазы, используемые лишь в качестве абразивного материала.

Важнейшей областью применения технических алмазов в настоящее время является изготовление

сверл, резцов, стеклорезов, фильеров (волоков) для получения проволоки, абразивных порошков и паст, заправка алмазных пил, армирование буровых коросток для механического вращательного бурения и т. д.

Благодаря уникальным свойствам алмаза — прочности, термостойкости, устойчивости к воздействию агрессивных сред — сфера его применения неуклонно расширяется, охватывая области новейших технологий, оборонные отрасли и т. д. Алмаз используется в электронных приборах, предназначенных для работы в сильных электрических полях, при высоких температурах, в условиях повышенного уровня радиации. Благодаря этому алмаз приобрел статус стратегического сырья. Со второй половины XX в. объем потребления технических алмазов стал одним из показателей уровня промышленной вооруженности развитых стран.

До конца 50-х годов прошлого столетия в технике использовались только природные алмазы. В 1953 г. были получены первые искусственные алмазы, их промышленное производство началось в 1957 г., а уже в 1959 г. было произведено около 1 млн кар синтетических алмазов. Производство синтетических алмазов налажено в США, ЮАР, Ирландии, Швеции, Японии и России. В начале 70-х годов по объему использования в промышленности синтетические алмазы опередили природные.

В настоящее время производство синтетических алмазов почти в 10 раз превышает добычу природных технических алмазов и в 1997 г. составило 450 млн кар.

По оценкам экспертов, границы применения алмаза в XXI в. будут постоянно расширяться, и он сохранит высокую экономическую значимость.

Коренные месторождения алмазов связаны с продуктами платформенного магматизма — кимберлитами и лампроитами. Алмазоносные кимберлиты — основной источник ювелирных и технических алмазов. Кимберлиты залегают обычно в виде трубок — конусообразных, суживающихся книзу рвущих тел, имеющих округлые, эллипсоидные сечения. Значительно реже кимберлиты образуют тела иной формы — штоки, линзы, дайки, силлы. Трубки в большинстве случаев вертикально ориентированы и прослеживаются среди пород платформенного чехла и кристаллических обра-

зований фундамента на глубине до 2 км и более. Диаметр тел в верхней, кратерной части колеблется от первых десятков до многих сотен метров; с глубиной диаметр уменьшается и трубки выклиниваются или переходят в дайки. Кратерные части сложены обычно обломочными породами, осыпавшимися с бортов трубки. Основное тело — диатремовая часть — выполнено кимберлитами нескольких генераций и их туфами, на глубине, в канальной части они сменяются массивными кимберлитами.

Кимберлит — ультраосновная гипабиссальная порода порфириковой структуры, представляющая собой эруптивную брекчию. Характерной особенностью кимберлитов является присутствие в них многочисленных обломков вмещающих пород и глубинных обособлений. Образование алмазов происходит, вероятно, на больших глубинах в процессе генерации кимберлитовой магмы. Содержание алмазов в кимберлитах колеблется в широких пределах от 0,01 до 0,8 кар/т, редко достигая 3–4 кар/т в наиболее богатых трубках.

Алмазоносные кимберлитовые трубки известны в Юж. и Зап. Африке, на Сибирской платформе, на северной окраине Восточно-Европейской платформы, в Индии, Бразилии, Венесуэле и других странах. Наиболее значительные месторождения находятся в Африканской алмазоносной провинции (табл. 1.3.3). Мировой известностью пользуются многие российские месторождения: трубки Мир, Удачная, Зарница и др. в Якутской алмазоносной провинции, трубка им. В. Гриба, месторождение им. М. Ломоносова в Архангельской алмазоносной провинции.

Кимберлиты — единственный источник алмазов. В Австралии в последние десятилетия открыты крупные месторождения, связанные с лампроитами — щелочными породами, отличающимися от кимберлитов повышенным содержанием калия, фтора и другими петрохимическими особенностями. Алмазоносные лампроиты, как и кимберлиты, образуют тела трубообразной формы, периферическая часть которых сложена лампроитовыми туфами и брекчиями, а центральная — массивными лейцитовыми или оливиновыми лампрофирами. В верхних частях трубок наблюдаются элементы вулканических построек,

Крупнейшие зарубежные месторождения и районы добычи алмазов

№	Название	Геологический тип промышленной россыпи	Размеры трубок	Содержание алмазов, кар/т 100–300 кар/м ³	Запасы, ресурсы	Годовая добыча
1.	Александр-Бей, ЮАР	россыпной	—	—	—	—
2.	Аррайл-район (трубка АК-1), Австралия	лампроитовый (трубка)	в плане: длина — 1440 м ширина — 150–370 м площадь — 47 га	2,44 кар/т	—	26 млн кар
3.	Джаненг, Ботсвана	кимберлитовый (три трубки)	общ. площадь — 50,8 га глубина — до 600 м	1,25	40 млн кар 373 млн кар	11,5 млн кар
4.	Кимберли-район (трубка Кимберли), ЮАР	кимберлитовый (трубки)	—	0,162	1,5 млн кар 30 млн кар	569 тыс. кар
5.	Летлхакане, Ботсвана	кимберлитовый (две трубки)	площадь — 11,6 га и 3,6 га	0,273	1,9 млн кар 1,4 млн кар	959 тыс. кар
6.	Орана, Ботсвана	кимберлитовый (трубка)	овал — 1670 × 1210 м площадь — 113 га	0,83	158,5 млн кар 161,5 млн кар	12,2 млн кар
7.	Премьер, ЮАР	кимберлитовый (трубка)	площадь — 32 га глубина — до 760 м	0,626	21 млн кар 133 млн кар	1,78 млн кар

отложения кратерных озер. Содержание алмаза в лампроитах достигает 5–6,8 кар/т. Многочисленные (более 100) тела алмазоносных лампроитов наряду с кимберлитами выявлены в Зап. Австралии, где в связи с этим выделена Австралийская алмазоносная провинция.

Важное промышленное значение имеют россыпные месторождения алмазов, в которых сосредоточены значительные запасы. Среди алмазоносных россыпей выделяются различные типы: элювиальные, делювиальные и аллювиальные, озерные, морские и др. Содержание алмаза в россыпях различного типа колеблется от сотых долей карата до 10 кар/т и более. При этом россыпные месторождения характеризуются высокой долей ювелирных алмазов. Наиболее значительные россыпные месторождения располагаются вдоль Атлантического побережья Африки в ЮАР, Намибии и других странах.

В настоящее время ресурсы алмазов оцениваются в 5 млрд кар, общие запасы в 27 странах мира (без России) составляют 895 млн кар; более половины запасов заключены в коренных месторождениях. Ежегодная добыча алмазов — 90–100 млн кар, более половины из них — ювелирные сорта. Ведущими странами по добыче алмазов являются Австралия, Ботсвана, ЮАР, Дем. Респ. Конго, Россия, Намибия, Ангола, Канада (табл. 1.3.3).

Асбесты. В группу асбестов объединены минералы, обладающие способностью легко расщепляться на тонкие прочные волокна. Среди них выделяют две главные группы — серпентин-асбесты и амфиболовые асбесты. К первой относится наиболее широко распространенный и самый важный в промышленном отношении хризотил-асбест. В группу амфибол-асбестов входят: крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит и др. Индивидуальные волокна представляют собой тончайшие трубочки диаметром в сотые — тысячные доли микрона, длиной от десятых долей мм до 160 мм и более. Наиболее распространены волокна хризотил-асбеста длиной 2–5 мм, содержание волокна длиной 20–30 мм обычно не превышает 1%, волокно длиной более 100 мм встречается исключительно редко. Промышленная ценность асбеста определя-

ется его огнестойкостью, устойчивостью к воздействию кислот, щелочей, длиной волокна и его прочностью. Асбест широко используется в технике и строительстве для изготовления различных асбестоцементных, асбестобитуминозных и др. изделий, в химической промышленности — для производства кислото- и щелочестойких материалов, пластмасс; длинноволокнистые (текстильные) сорта применяются для изготовления защитной одежды и т. д.

Асбест образуется в результате гидротермально-го изменения богатых магнием магматических пород ультраосновного состава и доломитов. Обычно он выполняет маломощные жилы и прожилки, густая сеть которых пронизывает измененные породы. Масштаб месторождений и качество сырья зависят от состава исходных пород, интенсивности гидротермального процесса, структурных условий формирования залежей. Выделяется несколько геолого-промышленных типов: линзовидные залежи хризотила в серпентинизированных массивах ультрабазитов; пластовые и жиллообразные зоны серпентинизации с хризотилом в карбонатных толщах; пластовые жилы с крокидолитом и амозитом на контакте железокремнистых пород с доломитами; гнездо- и штокообразные тела антофиллит-асбеста в ультрабазитах метаморфических комплексов (табл. 1.3.4). Общие запасы асбеста в мире превышают 250 млн т, крупнейшие — в Казахстане, Канаде, Китае. Ежегодная добыча асбеста достигает 2 млн т, основные производители асбестового волокна — Канада, Россия, Казахстан, Бразилия, Китай.

Барит и виверит. Барит (тяжелый шпат) — сульфат бария — $BaSO_4$. Высокая плотность барита ($4,2 - 4,7 \text{ кг/м}^3$) определяет основную область использования его в промышленности (90 %) как утяжелителя промышленной жидкости при бурении глубоких нефтяных и газовых скважин. Прозрачные бесцветные кристаллы относятся к оптическому бариту. Барит кислотостоек, способен поглощать рентгеновское и радиоактивное излучение. Благодаря этим свойствам барит используется в химической и лакокрасочной промышленности, в производстве специальных сортов резины, в качестве наполнителя при изготовлении высококачествен-

Таблица 1.3.4

Геолого-промышленные типы и примеры асбестовых месторождений

№	Название	Геолого-промышленный тип	Форма залежей	Главные минералы	Внешающие породы
1.	Баженовское, Россия	Серпентинизированные ультрабазиты	Каравасобразные и линзовидные тела	Хризотил-асбест	Серпентинизированные массивы дунит-гарцбургитовой формации
2.	Молодежное, Россия	Серпентинизированные ультрабазиты	Эллипсоидная залежь штоковерхового прожилкования	Хризотил-асбест	Гипербазитовый массив (гарцбургиты, дуниты)
3.	Месторождения штата Аризона (Солт-Ривер и др.), США	Асбестоносные серпентиниты на контактах доломитов и силлов диабазов	Согласные пластовые залежи	Хризотил-асбест	Доломитизированный известняк
4.	Курумман, Прикаспийская ЮАР	Асбестоносные доломиты с железистыми кварцитами	Согласные жилы	Крокидолит-асбест	Магнетитовые кварциты
5.	Лайденбург, ЮАР Трансвааль	Асбестоносные железистые кварциты и доломиты	Согласные жилы	Амозит	Железистые кварциты
6.	Бугтасайское, Казахстан	Асбестоносные ультрабазиты метаморфических комплексов	Линзы и штокообразные тела	Антофиллит-асбест, тальк	Метаморфизованные тела гипербазитов

ных сортов бумаги, в медицине, строительстве для защиты от рентгеновского излучения и т. д.

Другой промышленный минерал бария — витерит — карбонат бария, $BaCO_3$; по своим физическим свойствам (плотность 4,3 — 4,4 кг/м³) близок бариту, но не является химически стойким, растворим даже в слабых кислотах. Витерит значительно меньше распространен в природе, поэтому использование его ограничено; он используется главным образом в химической промышленности. Руды барита и витерита всегда требуют обогащения. Подавляющее большинство баритовых и баритсодержащих месторождений относится к гидротермальному и гидротермально-осадочному, а также к россыпному типам. Гидротермальные месторождения представлены жилами, линзами, телами неправильной формы. По минеральному составу выделяют баритовые, барит-витеритовые, кварц-баритовые, кальцит-баритовые, флюорит-баритовые, барит-сидеритовые и др. жилы. Стратиформные гидротермально-осадочные месторождения располагаются в осадочных и вулканогенных породах в виде согласных пластовых и линзовидных залежей. Размеры таких залежей достигают нескольких квадратных километров при мощности 15 — 20 м и более (табл. 1.3.5). Общая мировая добыча превышает 6,5 млн т в год и неуклонно возрастает; наиболее крупные производители — Китай, Индия, США, Марокко. Общие запасы барита в мире превышают 600 млн т, большая часть их (61 %) — в Казахстане, Индии, Китае.

Графит. Графит — полиморфная модификация углерода гексагональной сингонии. В природе графит встречается в виде рассеянных чешуек, или агрегатов, сложенных гибкими неупругими кристаллами, либо плотных зернистых агрегатов, иногда в виде плотных тонкодисперсных скрытокристаллических масс. Главнейшие свойства графита — весьма высокая огнеупорность (температура плавления 3850 ± 50 °С), высокая тепло- и электропроводность, химическая инертность, мягкость, пластичность, высокая кроющая способность. Графитовые руды подразделяются на явнокристаллические со средней величиной кристаллов более 1 мкм и скрытокристаллические (величина кристаллов меньше 1 мкм). В про-

Таблица 1.3.5

Примеры месторождений барита

№	Название	Геолого-промышленный тип	Форма залежей	Главные минералы	Вмещающие породы
1.	Чордское, Грузия	Гидротермальный	Многочисленные залежи, жилы	Барит, кальцит, кварц	Вулканогенные осадочные породы юрского возраста
2.	Апшринское, Грузия	Гидротермально-метасоматический	Пластообразная	Барит, доломит, сидерит, кальцит	Известняки в терригенно-карбонатной толще юрского возраста
3.	Минами-Шираои, Япония	Колчеданный (гидротермально-осадочный)	Пластовая линзовидная неправильная	Барит, кварц, пирит, халькопирит	Вулканогенные породы — зеленые туфы миоценового возраста
4.	Чиганак, Казахстан	Осадочный	Пласт протяженностью 2 км, мощностью 5–30 м	Барит, кварц	Толща ашмокарцитов, глинисто-кремнистых сланцев, песчаников кембрия-ордовика
5.	Месторождения штатов Джорджия и Миссури, США	Элювиально-делювиальные коры выветривания	Плащеполобые залежи	Обломки барита	Глины, охры кор выветривания доломитов

мышленных чешуйчатых рудах массовая доля графита составляет от 2 до 15 %; они легко обогащаются (с получением 60 %-ного флотационного концентрата). В плотнокристаллических рудах доля графита 35–40 % и более. Скрытокристаллические руды содержат 50–90 % (в среднем 70 %) углерода, они труднообогатимы, минимальное содержание графита в них около 20 %.

Кроме природного графита в промышленности широко используют его синтетические аналоги, получаемые из антрацита, нефтяного кокса и отходов доменного производства.

Основная масса графита используется в качестве огнеупоров, в производстве высокоуглеродистой стали, в литейном деле, в электротехнике. Широко используется графит в производстве смазок, в лакокрасочной промышленности и оргтехнике, в ядерной технике и на атомных электрических станциях. Он является также сырьем для производства синтетических алмазов.

Мировые ресурсы графита составляют около 600 млн т, ежегодная добыча превышает 600 тыс. т. Основные запасы и производство сосредоточены в Китае, Мексике, на Украине, в Чехии, Южной Корее, Бразилии и др. Россия обладает значительными запасами графита.

Геолого-промышленные типы месторождений графита разнообразны, наибольшее значение имеют следующие.

1. Группа магматических, пегматитовых, скарновых месторождений — линзы, жилы, неправильные тела богатых руд — Ботогольское месторождение (Россия), месторождения Канады, Индии, США и др.

2. Месторождения метаморфического генезиса — пластовые залежи и линзы вкрапленных руд среди глубокометаморфизованных толщ — Завальевское (Украина), Тайгинское (Россия), месторождения Чехии, США, Мадагаскара.

3. Контактново-метаморфические месторождения (образованные за счет метаморфизма углей) — пластовые залежи и линзы богатых скрытокристаллических руд в осадочных толщах — Курейское, Ногинское (Россия), месторождения Мексики, Австралии и др.

Примеры перечисленных типов приведены в табл. 1.3.6.

Таблица 1.3.6

Геолого-промышленные типы и примеры месторождений графита

№	Название	Геолого-промышленный тип	Форма залежей	Главные минералы	Вмещающие породы
1.	Ботогольское (Россия, Бурятия)	Магматический	Линзовидные залежи, гнезда	Плотнокристаллический графит, графит-пироксен-кальцитовые агрегаты	Нефелиновые сyenиты, контакты с известняками
2.	Курейское (Россия, Красноярский край)	Контакново-метаморфический	Пластовая залежь, мощн. 15–20 м	Скрытокристаллический графит, мелко- и крупночешуйчатый графит	Графитовые сланцы, песчаники, аргиллиты, мраморизованные карбонатные породы, угли, диабазы
3.	Завальевское (Украина, Кировоградская обл.)	Метаморфогенный	Пластовые залежи и линзы вкрапленных руд	Крупночешуйчатый графит, кварц, калишпат, плагиоклаз и др.	Графитоносные гнейсы, мраморы, кварциты, амфиболовые гнейсы

Минеральные строительные материалы и сырье для их производства

Цементное сырье — это различные горные породы — карбонатные, глинистые, кремнистые и сульфатные, которые используются для получения цемента. Мировое производство этого необходимого строительного материала неуклонно возрастает, приближаясь в настоящее время к 1 млрд т. Имеется множество различных типов, сортов, марок цемента, различающихся своими свойствами. Важнейшим вяжущим материалом этого семейства является портландцемент. Для приготовления 1 т его клинкера (полупродукта, получаемого при обжиге тонкоизмельченной смеси минеральной шихты) расходуется 1,7–2,1 т исходного сырья — карбонатных (известняки, мел, мергель) и глинистых (глины, глинистые сланцы, аргиллиты) пород, смешиваемых в строго определенных соотношениях. Доля первых составляет 75–82 %, вторых — 18–25 %.

Первоначально портландцемент изготавливался из глинистых известняков, так называемых мергелей-натуралов, характеризующихся почти оптимальным для цемента отношением оксида кальция к кремнезему. Такие месторождения широко известны в штате Огайо (США), районе Регби-Лейстер (Великобритания), районе Новороссийска (Россия). Однако истощение месторождений мергелей-натуралов и резкое повышение спроса на цемент привело к тому, что для производства портландцемента стали использовать глины и известняки различных месторождений.

Качество цемента определяется соотношением его главных клинкерных компонентов и наличием загрязняющих примесей и зависит от химического состава исходной смеси карбонатных и глинистых пород (шихта), а также вводимых в цементный клинкер гипса и других добавок. Общими требованиями к качеству цементного сырья являются его однородность, выдержанность химического состава и отсутствие крупных включений других пород и минералов.

Среди месторождений карбонатного сырья для цементной промышленности наибольшее значение име-

ют три геолого-промышленных типа (Еремин, 2007): 1) субгоризонтальные пласты и линзы мела, мергелей, известняков и доломитов в разрезах платформенных карбонатно-терригенных формаций различного возраста (Вольские и другие многочисленные месторождения Русской платформы и других платформ); 2) круто- и пологопадающие пласты, линзы и пачки ритмичного чередования мергелей, известняков и карбонатных глин мощностью в десятки метров в разрезах складчатых геосинклинальных карбонатно-терригенных флишевых толщ большой мощности (Новороссийские месторождения); 3) слабо наклоненные, быстро выклинивающиеся пластовые, линзовидные и сложной формы залежи доломитов и органогенных известняков с мелом и мергелями в составе карбонатных, рифогенных, соленосных, терригенных и угленосных толщ краевых и межгорных прогибов и внутренних впадин (Еленовское месторождение в Донбассе, месторождения штатов Огайо, Индиана и Иллинойс в США).

Источником глинистого сырья помимо мергелей служат месторождения морских глин, глинистых илов, аргиллитов и глинистых сланцев, представленные пластовыми и линзовидными залежами.

В цемент для улучшения его способности к гидратации в небольшом количестве добавляются высококремнистые породы с активным кремнеземом — диатомиты, трепелы и опоки определенного химического состава. В качестве активных добавок используются также вулканические породы опал-кристобалитового ряда: пуццоланы и трассы. Месторождения этого сырья широко развиты среди молодых осадочных пород Поволжья, Зауралья и других регионов.

В различные сорта цемента для регулирования его свойств добавляют гипс (до 3 %). Главным геолого-промышленным типом месторождений гипса и ангидрита являются протяженные линзовидные и пластовые залежи в толщах карбонатных и терригенных пород — известняков, доломитов, глин и мергелей. Эти месторождения широко распространены в различных регионах.

Главными требованиями к месторождениям горных пород, используемых как строительные материалы и как сырье для их производства, являются: значи-

тельные размеры, открытый способ разработки, обеспечивающий возможность переработки значительных объемов горной массы, близость к потребителям, комплексность сырья.

Список литературы

1. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В. Авдонин, В.Е. Бойцов, В.М. Григорьев и др. 2-е изд., испр. и доп. М.: Академический Проект; Трикста, 2005. 720 с.
2. *Еремин Н.И.* Неметаллические полезные ископаемые: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007. 459 с.
3. *Козловский Е.А.* Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность. М.: Изд-во МГУ, 2002.
4. *Романович И.Ф.* Месторождения неметаллических полезных ископаемых. М., 1986. 366 с.
5. *Сняков В.И.* Геолого-промышленные типы рудных месторождений. СПб.: Недра, 1994. 248 с.
6. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1989. 326 с.
7. *Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф.* Курс рудных месторождений: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1986. 360 с.

Глава 2

ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

2.1. Геологическое обоснование постановки поисков и стадии поисковых работ

Основной задачей поисковых работ является обнаружение и предварительная оценка промышленных месторождений. Решение этой задачи достигается при выполнении комплекса работ, проводимых в определенной последовательности.

Основой для постановки поисковых работ является совокупность благоприятных геологических данных, определяющих возможность обнаружения тех или иных месторождений в исследуемом районе. Комплекс поисковых работ осуществляется в определенной последовательности.

В геологоразведочном процессе реализуется принцип последовательного приближения путем перехода от мелко-, среднemasштабных работ к более детальным. Это определяется необходимостью периодической оценки результатов работ и принятия обоснованных решений о целесообразности проведения более детальных исследований. Основанием для постановки последующих работ служит оценка перспективности изучаемых площадей и практического значения прогнозных ресурсов полезных ископаемых, обнаруженных при проведении предшествующих работ. Для оценки перспективности изучаемых площадей пользуются понятиями металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов.

Понятие «металлогенический (минерагенический) потенциал» служит для характеристики металлоносности металлогенических таксонов (областей, поясов, районов и т. д.). Это качественная оценка металлоносности, предусматривающая выделение трех уровней: высокий, средний, низкий металлогенический потенциал. Она осуществляется при региональных исследованиях масштаба 1:500 000 и мельче на основе самых общих особенностей геологического строения металлогенических провинций и зон. В таких оценках обосновывается принципиальная возможность обнаружения месторождений тех или иных рудно-формационных типов с предполагаемыми их масштабами.

Прогнозные ресурсы, наличие которых предполагается на основе общих геологических представлений, научно-теоретических предпосылок, результатов геологического картирования, геофизических и геохимических исследований, оцениваются в границах бассейнов, крупных районов, рудных узлов, рудных полей и отдельных месторождений. По степени достоверности прогнозные ресурсы подразделяются на три категории: $P_3 - P_2 - P_1$.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных магматических, стратиграфических, литологических, тектонических и палеогеографических предпосылок, выявленных в оцениваемом районе при среднемасштабном геологическом изучении недр, дешифрировании космических снимков, а также при анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Количественная оценка ресурсов этой категории производится без привязки к локальным площадям по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными районами, где имеются разведанные месторождения того же рудно-формационного типа.

Прогнозные ресурсы категории P_2 учитывают возможность обнаружения в рудном поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной геологической

съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основываются на аналогиях с известными месторождениями того же формационного геолого-промышленного типа. Прогнозные ресурсы оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации при современной и возможной в ближайшей перспективе технологии разработки месторождений.

Прогнозные ресурсы категории P_1 учитывают возможность выявления новых рудных тел полезного ископаемого на перспективных участках, рудопроявлениях, разведанных и разведываемых месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел. Оценка ресурсов основывается на результатах геологических, геофизических и геохимических исследований площадей возможного нахождения полезного ископаемого, а также на материалах одиночных структурных и поисковых скважин и геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной части месторождения и определяющих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес.

Прогнозные ресурсы служат для долгосрочного и текущего планирования геологоразведочных работ, а также могут использоваться при проектировании прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ. Совокупность таких работ должна обеспечивать получение прироста запасов категории C_2 , являющегося основным результатом суммы проведенных разномасштабных поисковых работ. Для определения рациональных путей решения этой задачи требуется оценить прогнозные ресурсы, необходимые для получения намеченных приростов и выбрать эквивалентные площади для постановки геологоразведочных работ соответствующих масштабов.

Классификация прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых отражает последовательное повышение точности и надежности оценки с ростом информации о них. Соответственно работам каждого масштаба (детальности) отвечают собственные категории прогнозных ресурсов. При этом соблюдается эквивалентность между геологическими объектами, пространственными металлогеническими категориями и прогнозными ресурсами, обеспечивается последовательная локализация перспективных площадей, в наиболее общем виде отвечающих ряду: металлогеническая или минерагеническая зона — рудный район — рудное поле — месторождение (перспективный участок).

При региональном геологическом изучении территории в результате прогнозно-металлогенического картографирования и геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 (1:100 000) обеспечивается необходимый уровень изученности для постановки поисковых работ, выделяются *рудные районы* с оценкой их прогнозных ресурсов по категории P_3 .

На основании этих результатов осуществляется постановка поисковых работ в масштабе 1:50 000 (1:25 000). Поисковые работы могут проводиться и на ранее опоскованных участках и площадях, если это обусловлено изменениями представлений о их геологическом строении и рудоносности, изменениями конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследований или внедрением инновационных технологий поисковых работ и обработки их результатов. При геолого-съёмочных и поисковых работах масштаба 1:50 000 (1:25 000), опережающих и сопровождающих их детализационных, наземных геофизических, геохимических, геолого-минералогических и других исследований, с проходкой поверхностных горных выработок и при необходимости поисковых скважин достигается необходимый уровень изученности площадей для постановки более детальных поисковых работ: выявление и оконтуривание *рудных полей и локальных площадей*, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых, определение их прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Детальные поиски в зависимости от сложности геологического строения территории, формационного типа прогнозируемого оруденения и глубинности исследований могут проводиться в масштабах 1:25 000 — 1:10 000. Они включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных месторождений используется глубокое бурение в сочетании с скважинными геофизическими и геохимическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий производства работ и накопленного опыта применения поисковых методов для различных видов полезных ископаемых и промышленных типов месторождений.

По совокупности полученной геологической, геофизической и геохимической информации и ее комплексной интерпретации локализуются *перспективные участки, потенциальные месторождения и объекты*. Проверка природы геофизических и геохимических аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений тел полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяется содержание основных и попутных компонентов, в необходимых случаях — предварительные технологические свойства руд.

Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей (участков, объектов). На изученных проявлениях полезных ископаемых определяются прогнозные ресурсы категории P_2 и P_1 , а также частично осуществляется подсчет запасов категории C_2 .

Выявленные и положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, подготовленных для постановки оценочных работ.

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади и изучения геолого-структурных особенностей потенциально про-

мышленного месторождения проводится геологическая съемка и составляется геологическая карта масштаба 1:25 000 — 1:10 000 для крупных и масштаба 1:5000 — 1:1000 для небольших и сложных месторождений. Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Изучение рудовмещающих структурно-вещественных комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляются с поверхности канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами.

Изучение на глубину осуществляется преимущественно буровыми скважинами до горизонтов, обеспечивающих вскрытие рудоносных структурно-вещественных комплексов, а при глубоком их залегании — до горизонтов, экономически целесообразных для разработки с использованием современных технологий освоения месторождений. При высокой степени изменчивости полезной минерализации или при сильно расчлененном рельефе для изучения объекта на глубину возможно применение подземных горных выработок.

Все вскрытые в естественных и искусственных обнажениях выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты. В необходимых объемах проводится контроль качества отбора и обработки проб и их анализов.

Технологические свойства полезного ископаемого изучаются по лабораторным, а в необходимых случаях — по малым или большим технологическим пробам, отобраным по основным природным разновидностям руд; определяется принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого, определяются возможные технологические показатели.

В скважинах и горных выработках проводится комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и других наблюдений и исследований в объемах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения, определения источников водоснабжения, возможных водопритоков в горные выработки и очистное пространство. Определяются факторы, негативно влияющие на показатели гор-

ного предприятия. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду. При оценке гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и других природных условий разработки месторождения используются соответствующие показатели известных и отрабатываемых в районе месторождений.

В результате оценочных работ степень геологической изученности месторождения, качества, вещественного состава и технологических свойств полезных ископаемых, а также горно-геологических условий эксплуатации должна обеспечить предварительную оценку промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории C_2 . По менее детально изученной части месторождения количественно и качественно определяются прогнозные ресурсы категории P_1 с указанием границ их распространения. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом запасов категории C_2 .

Геолого-экономическая оценка месторождений является обязательной частью комплекса оценочных работ и осуществляется систематически в процессе проведения работ и по их завершении. Оперативная геолого-экономическая оценка в процессе работ проводится по укрупненным показателям, и по ее результатам принимаются обоснованные решения о целесообразности продолжения работ или их прекращения на конкретном участке, месторождении.

После завершения стадии разрабатываются временные разведочные кондиции и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка масштабов, экономической значимости месторождения, определяется целесообразность инвестирования дальнейших разведочных работ. Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование временных кондиций, и технико-экономический доклад представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Содержание отчета и технико-экономического обоснования конди-

ций, а также перечень обязательных текстовых и графических приложений определяются соответствующими инструктивно-нормативными документами по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов технико-экономического обоснования кондиций на минеральное сырье и подсчета запасов. Заключение государственной экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

По результатам оценочных работ производится подготовка пакета геологической информации, необходимой для проведения конкурса или аукциона на предоставление лицензии на разведку и добычу полезных ископаемых.

В соответствии с вышепоказанной последовательностью разномасштабных прогнозно-металлогенических исследований и поисковых геологоразведочных работ для получения на той или иной слабо изученной территории необходимого прироста запасов категории C_2 требуется выполнение комплекса работ, обеспечивающих превращение металлогенического потенциала в ресурсы категории P_3 , перевод ресурсов категории P_3 в P_2 , категории P_2 в P_1 и, наконец, ресурсов категории P_1 в запасы категории C_2 . Соответствующим образом от стадии к стадии изменяются ранги и размеры площадей требуемых работ.

Очевидно, что значения металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов всех категорий не эквивалентны значениям запасов категории C_2 , выявляемых на той же площади. Это зависит от ряда причин как объективного, так и субъективного характера. К числу главных из них принадлежат: недостаточная достоверность оценок прогнозных ресурсов, определяемая несовершенством геологических основ прогнозирования и его вероятностным характером; рассредоточенность прогнозируемой массы металла по серии мелких объектов; превышение выявляемых масштабов объектов над предполагавшимися; несоответствие качества обнаруженных руд современным промышленным требованиям; недоступность глубин залегания месторождений для поискового и промышленного освоения; субъективные ошибки при выборе направлений работ и т. п.

2.2. Геологические предпосылки поисков

Месторождения полезных ископаемых и в особенности промышленные месторождения встречаются в земной коре достаточно редко. Однако при всей исключительности месторождений они не являются случайными образованиями. Формирование месторождений — это отдельные, в ряде случаев весьма незначительные по масштабам, эпизоды в общем комплексе сложных процессов эволюции земной коры. Но они подчиняются строгим закономерностям. Выявление, изучение закономерностей образования и размещения месторождений — основа поисковых и разведочных работ.

Научно обоснованное проведение поисковых работ возможно при учете совокупности геологических данных, определяющих возможность обнаружения тех или иных месторождений. Поисковые критерии, на основе которых оцениваются перспективы изучаемых площадей и проводятся поисковые работы, делятся на две группы: геологические предпосылки поисков и поисковые признаки.

Геологические закономерности, контролирующие размещение месторождений, составляют основу геологических предпосылок.

Геологическое положение различных типов месторождений определяется комбинацией условий, благоприятных для их образования, которые имели место в период формирования месторождений. Таким образом, геологические предпосылки поисков — это такие элементы и особенности геологического строения данного участка земной коры, которые предопределяют существование условий и возможностей образования месторождений определенного типа в его пределах в геологическом прошлом. Геологические предпосылки обуславливают принципиальную теоретическую возможность протекания процессов рудообразования; наличие их характеризует перспективность данного участка на обнаружение месторождений.

Известно, что все месторождения одного промышленного типа образуются в сходных условиях, поэтому для каждого типа необходимо сочетание определенных

условий, т. е. предпосылок. Иными словами, можно говорить о комплексе предпосылок, определяющих геологически благоприятные условия и обстановки формирования месторождений данного типа. При этом значение каждой предпосылки различно для разных групп месторождений.

Главнейшие группы геологических предпосылок поисков были выделены и охарактеризованы основоположниками этого направления в поисково-разведочной геологии В.М. Крейтером и В.И. Смирновым. В настоящее время при прогнозно-поисковых исследованиях принято выделять несколько групп геологических предпосылок: формационные, структурные, литолого-фациальные, геохимические.

Формационные предпосылки

Формационные предпосылки основаны на одном из важнейших положений геологии полезных ископаемых — о закономерной связи полезных ископаемых с геологическими формациями. Основоположники учения о геологических формациях Н.С. Шатский и Н.П. Херасков определили их как «естественные ассоциации горных пород и связанных с ними минеральных образований, отдельные члены которых в результате парагенетических отношений тесно связаны друг с другом как в пространственном, так и в возрастном отношении». Формации — это крупные геологические тела, которые характеризуются определенным сочетанием и составом горных пород, строением, связью с тектоническими структурами. Появление каждой формации обусловлено определенным тектоническим режимом. В пределах крупных тектонических структур формации образуют закономерные ряды, отражающие историю развития данной структуры.

Выделяются формации осадочные, магматические, а также смешанные, преимущественно вулканогенно-осадочные.

Установлено, что с различными формациями связаны определенные группы полезных ископаемых. Например, с дунит-гипербазитовыми формациями ранних стадий рифтогенеза и областей активизации

связаны месторождения хромитов и платиноидов, с вулканогенными базальтоидными формациями связаны месторождения колчеданного семейства, прибрежно-морские известково-терригенные формации содержат рудные тела марганцевых месторождений и т. д.

В других случаях геологическая формация может выступать в качестве среды рудоотложения, вмещающей промышленно ценную минерализацию, связанную с другими геологическими формациями. Так, например, жильные гидротермальные месторождения, связанные с магматическими формациями, могут быть локализованы среди осадочных, осадочно-вулканогенных и других геологических формаций. Такие формации называются рудовмещающими. Вмещающая среда существенно влияет на локализованную в ней гидротермальную минерализацию, во многих случаях предопределяя развитие различных по минеральному составу руд.

Связь полезных ископаемых с формациями в общем виде заключается в том, что они представляют собой по существу горные породы, входящие в состав определенных формаций, но встречаются значительно реже, чем другие компоненты формаций. Руды и другие полезные ископаемые являются, как и все остальные породы, составляющие формацию, ее закономерными членами.

Характеризуя сущность формации, иногда прибегают к такому сравнению: точно так, как порода является парагенезом минералов, так формацию можно рассматривать как парагенез пород. Продолжая эту аналогию, месторождения в геологических формациях можно уподобить аксессуарным минералам в породах.

Принадлежность к конкретным формациям и определяет главнейшие геологические условия, в которых происходило образование полезных ископаемых. При этом следует иметь в виду, что некоторые виды полезных ископаемых бывают приурочены к одному определенному типу формаций (моноформационный), тогда как другие встречаются в двух или нескольких типах формаций. Например, медистые песчаники всегда связаны с пестроцветными формациями аридных зон

и отсутствуют в других группах формаций. Это, в частности, служит доказательством осадочного происхождения медных руд данного типа, сингенетичного с вмещающими породами. В отличие от этого фосфоритоносные формации делятся на две группы: геосинклиналинную и платформенную. Первая связана с карбонатными или терригенно-карбонатными формациями, характеризующимися повышенной кремнистостью. Фосфоритоносные формации платформенных областей представлены двумя группами: терригенно-карбонатной и глауконитовой.

Когда речь идет об осадочных формациях, связь с ними осадочных полезных ископаемых бывает наиболее очевидной: тела их переслаиваются с другими породами формации. По существу, в данном случае полезные ископаемые представляют собой определенные, особые фации осадочных пород.

Сложнее обстоит дело с выявлением связей эндогенных месторождений с магматическими формациями, особенно когда эти месторождения располагаются вне магматических образований данной формации.

В.И. Смирнов среди главных признаков связи указывал следующие.

1. Одновременность образования комплексов изверженных горных пород и связанных с ними рудных месторождений, т. е. формирование их в один и тот же магматический и металлогенический период. Например, если изверженные породы и рудные месторождения залегают в породах одинакового геологического возраста и перекрываются одинаковыми породами более молодого возраста.
2. Приуроченность комплексов изверженных горных пород и эндогенных месторождений к одним и тем же геологическим структурам, которая с различной степенью отчетливости наблюдается во многих районах.
3. Одинаковые фациально-глубинные условия образования изверженных пород и месторождений.
4. Одинаковая степень метаморфизма пород и руд.
5. Приуроченность руд к интрузивным дайкам.
6. Связь определенных по составу изверженных пород и руд.

7. Закономерное размещение рудных месторождений по отношению к массивам изверженных горных пород. Выделяются три случая относительного положения рудных тел: а) размещение их внутри массивов; б) приуроченность к зонам контактов массивов; в) расположение их среди вмещающих изверженные массивы пород, иногда далеко от последних.
8. Геохимические признаки связи между эндогенными месторождениями и изверженными породами, устанавливаемые на основе изучения: а) акцессорных минералов в рудах и изверженных породах; б) одинаковых химических элементов в рудах и породах; в) уровня содержания металлов, входящих в состав руд месторождений, в интрузивах; г) соотношений изотопного состава элементов в рудах и изверженных породах; д) абсолютного геологического возраста и др.

Установление связи тех или иных полезных ископаемых с определенными формациями имеет важнейшее значение для поисков. Принцип использования формационных предпосылок заключается в том, что развитие в исследуемом районе пород какой-либо формации или нескольких формаций является указанием на возможность обнаружения месторождений, которые обычно связаны с этими формациями. Так, развитие гранодиоритовых комплексов предопределяет возможность формирования скарновых месторождений вольфрама, гидротермальных месторождений золота и ряда других. Наличие различных комплексов габбро-пироксенит-дунитовой формации может служить основанием для поисков магматических месторождений хромитов, медно-никелевых сульфидных месторождений, платиноидов, титано-магнетитов и т. д.

Эти самые общие принципы нуждаются в детализации. Для того чтобы на площади развития какой-либо рудоносной формации, охватывающей нередко сотни и тысячи квадратных километров, можно было выделить конкретные перспективные участки, необходимо располагать сведениями о закономерностях локализации руд. Изучение этих закономерностей позволяет выявить в пределах формации конкретные элементы,

являющиеся рудолокализирующими или определяющими возможность возникновения обстановок, благоприятных для рудоотложения, либо каким-либо другим образом влияющих на характер связанных с формацией полезных ископаемых. Например, рудные тела некоторых месторождений в конкретных районах локализуются вдоль тектонических нарушений, занимающих определенную структурную позицию. Месторождения осадочного генезиса характеризуются приуроченностью к определенным частям стратиграфического разреза, для других определяющей является литолого-фациальная обстановка. В ряде случаев эти рудоконтролирующие элементы приобретают самостоятельное значение и их целесообразно рассматривать в качестве отдельных групп геологических предпосылок.

В первую очередь заслуживают внимания стратиграфические, структурные, литолого-фациальные и геохимические предпосылки.

Стратиграфические предпосылки

Некоторые типы месторождений осадочных полезных ископаемых характеризуются отчетливой приуроченностью к определенным стратиграфическим горизонтам, которая объясняется тем, что образование их происходило в определенные эпохи осадконакопления. Так, Н.М. Страховым установлено в истории развития земной коры семь крупных и девять мелких эпох образования осадочных железорудных месторождений. С этими эпохами в основном совпадают периоды образования осадочных месторождений марганца и бокситов.

Закономерной стратиграфической приуроченностью характеризуются месторождения угля, горючих сланцев, фосфоритов, медистых песчаников и др.

Таким образом, изучение стратиграфического разреза имеет большое значение при поисковых работах, поскольку присутствие в изучаемом районе пород тех стратиграфических горизонтов, которые в глобальном или региональном масштабе относятся к продуктивным, может служить предпосылкой поисков соответствующих месторождений.

Однако при этом нужно иметь в виду, что, строго говоря, стратиграфическая приуроченность свойственна не просто телам полезных ископаемых или так называемым продуктивным горизонтам, а в первую очередь осадочным рудоносным формациям, которые в качестве присущих им компонентов включают в себя эти тела и продуктивные горизонты.

Структурные предпосылки

Как было отмечено выше, тела полезных ископаемых характеризуются закономерной структурной приуроченностью, которая может проявляться на различных уровнях. В глобальном масштабе подобными структурами могут являться металлогенические провинции, в региональном эти структуры могут быть проявлены металлогеническими поясами и бассейнами. Эти категории являются важным элементом прогнозно-металлогенических оценок крупных территорий, перспективных районов.

Для поисков конкретных месторождений ведущее значение приобретают локальные рудолокализирующие структуры. А они весьма разнообразны для месторождений различных групп, больше того, в месторождениях одного промышленного типа зачастую выделяется несколько структурных разновидностей. При проведении поисковых работ важно знать различные структурные типы месторождений, являющихся объектом поисков для того, чтобы обратить внимание на выявление соответствующих структур, которые могут служить поисковыми предпосылками.

Часто под структурными предпосылками подразумеваются прежде всего разрывные и складчатые структуры, контактовые зоны интрузивных тел, поскольку к этим элементам бываю приурочены рудные тела месторождений различных типов. Наличие разрывных нарушений традиционно рассматривается как благоприятная предпосылка для поисков. Точно так же укоренились представления о высокой перспективности некоторых ставших классическими комбинаций структурных элементов. Например, сочетания складок, преимущественно антиклинальных, и секущих разры-

вов, особенно если складки образованы чередованием пород, различающихся по компетентности, пористости, проницаемости и другим физико-механическим свойствам.

Кроме того, имеются более сложные по структурной позиции месторождения; выявление структурных предпосылок в этом случае требует постановки специальных исследований. Имеются в виду вулканогенные месторождения, связанные с вулканогенно-осадочными формациями. Наиболее наглядным примером их могут служить месторождения колчеданного семейства: медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические и др. Установлено, что они занимают закономерные позиции в палеовулканических структурах, располагаясь обычно: 1) на склонах экстрозивных и экстрозивно-лавовых куполов; 2) в жерловых зонах стратовулканов; 3) в вершинных депрессиях вулкано-купольных структур и стратовулканов; 4) в депрессионных структурах других типов. Для того чтобы выявить указанные структуры, а затем приступить к поисковым работам в наиболее благоприятных частях этих структур, необходимо достаточно детально расшифровать внутреннее строение вулканогенных толщ, т. е. провести специальное палеовулканологическое картирование.

Таким образом, структурные предпосылки можно условно подразделить на две группы: 1) тектонические — разломы разного типа, складки, их комбинации и т. д.; 2) палеовулканологические — древние захороненные вулканические постройки; стратовулканы, экстрозивы, субвулканы, депрессии разного рода и др.

Литолого-фациальные предпосылки

Изучение условий формирования месторождений показывает, что процессы рудоотложения протекают, как правило, в строго определенных фациальных обстановках. Это прежде всего относится к месторождениям осадочного генезиса, подавляющее большинство которых обычно бывает локализовано в породах, относящихся к наиболее благоприятным для рудоотложения фациям. Фундаментальными исследованиями Н.М. Страхова установлены основные закономерности

формирования осадочных руд железа, марганца, алюминия, приуроченность их к фациям прибрежной зоны озер и морей. Дифференциация этих элементов, обусловленная различной геохимической подвижностью, выражена в том, что осаждение алюминия происходит в прибрежной зоне, железа — в верхней части шельфа, а марганца — в нижней части. Для осадочных месторождений важную роль играет климатический фактор, который определяет типы литогенеза и соответствующие им обстановки формирования полезных ископаемых: гумидный, аридный и ледовый.

Фациальный контроль размещения и локализации руд отчетливо проявлен и в месторождениях, связанных с вулканогенными формациями. Связь процессов формирования и локализации руд с фациями вулканогенных пород проявляется по-разному и может рассматриваться в трех аспектах: 1) закономерная приуроченность месторождений к определенным группам фаций, обусловленная парагенетической связью оруденения с вулканизмом; 2) приуроченность руд к фациям, определенная условиями их одновременного образования; 3) приуроченность руд к определенным фациям, связанная с особенностями состава, строения и физико-механических свойств последних.

Многие месторождения магматического генезиса также обнаруживают приуроченность к определенным фациальным обстановкам, локализуясь в апикальных, краевых, донных частях интрузивных массивов или других условиях.

Геохимические предпосылки

Геохимические предпосылки основаны на геохимической специализации формаций и рудоносных комплексов, как магматических, так и осадочных. Изучение геохимической специализации разных типов пород позволяет выявить естественные связи различных элементов, в том числе индикаторов рудоносности данного комплекса.

Для магматических пород характер геохимической специализации в каждом конкретном случае зависит от сложного комплекса факторов, включающих геохи-

мическую природу магмы, геологические особенности ее кристаллизации и дифференциации, геохимическую специфику вмещающих пород, а также характер послемагматического изменения материнских пород.

В осадочных образованиях геохимическая специализация определяется особенностями химического состава пород, являющихся источниками сноса, характером дифференциации кластического и растворенного вещества на путях миграции, тектоническим и климатическим режимами седиментационной области, характером физико-химических и биологических процессов в конечных водоемах стока и, наконец, условиями диагенетического преобразования осадков.

Геохимическая специализация геологических комплексов может иметь региональное или локальное значение. Так, примерами региональной специализации могут служить региональная оловоносность меловых гранитоидов Чукотки, редкометалльная специализация юрских гранитов Восточного Забайкалья, региональная меденосность осадочных прибрежно-морских комплексов Центрального Казахстана.

Локальная специализация отдельных массивов и частей стратиграфического разреза является результатом особых условий формирования и геологического развития данного комплекса.

Не только геохимическая специализация, но и другие поисковые предпосылки характеризуются различной масштабностью проявления: одни из них свойственны крупным металлогеническим провинциям, другие позволяют оценивать перспективность рудных районов, третьи являются локальными и служат указателями возможного размещения месторождений.

2.3. Поисковые признаки

Под поисковыми признаками понимаются непосредственные указатели месторождений: это следы процессов и явлений, сопутствовавших образованию, изменению и разрушению месторождений; особые физические, минералогические и химические свойства полезного ископаемого и окolorудных пород, по

которым можно обнаружить месторождения; сведения о деятельности человека, имеющей отношение к полезному ископаемому. Иногда условно поисковые признаки делятся на прямые — непосредственно указывающие на наличие оруденения (выходы полезных ископаемых, ореолы рассеяния, следы старых горных выработок и др.) — и косвенные — косвенно свидетельствующие о происходивших процессах рудообразования или о возможном присутствии полезных ископаемых (измененные окolorудные породы, геохимические и геофизические аномалии, геоморфологические признаки и др.).

Выходы полезных ископаемых

Коренное обнажение тела полезного ископаемого является наиболее достоверным поисковым признаком. Во всех случаях выходы полезных ископаемых требуют тщательного изучения и оценки, которая нередко осложняется тем, что залежи в поверхностных условиях бывают существенно изменены гипергенными процессами. Следует также иметь в виду, что наличие коренных выходов полезного ископаемого еще не является гарантией того, что это выходы промышленных рудных тел: они могут оказаться незначительными по размеру или неудовлетворительными по качеству.

Геохимические аномалии

Геохимические аномалии имеют основное значение при поисках месторождений полезных ископаемых. Они выражены в формировании геохимических ореолов — зон, участков пород, окружающих месторождения или расположенных в непосредственной близости от него и характеризующихся повышенным содержанием рудообразующих или сопутствующих рудообразованию специфических элементов, минералов, других компонентов.

Ореолы подразделяются на первичные, связанные с процессами рудообразования, и вторичные, возникающие в результате воздействия на месторождение экзогенных процессов.

Ореолы рассеяния по размерам намного превышают залежи полезных ископаемых, их значительно проще обнаружить поисковыми методами, поэтому они имеют важное значение при поисках.

Первичные ореолы — это зоны рудовмещающих пород, окружающие месторождение, обогащенные в процессе рудообразования главными рудообразующими и рядом сопутствующих элементов (рис. 2.3.1). Различают первичные ореолы сингенетические и эпигенетические. Первые образуются в результате совместно протекающих процессов образования полезного ископаемого и вмещающих пород. Поэтому распределение химических элементов в этих ореолах характеризуется плавным повышением концентраций по мере приближения к рудным телам. Сингенетические ореолы свойственны месторождениям магматического и осадочного генезиса.

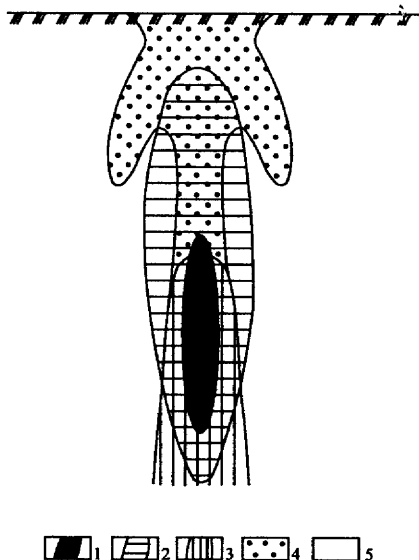


Рис. 2.3.1. Обобщенная схема первичного ореола гидротермального месторождения (по А.П. Соловову, с упрощением):

- 1 — рудное тело; 2 — околорудный ореол; 3 — подрудный ореол;
- 4 — нарудный ореол; 5 — современная денудационная поверхность

Эпигенетические ореолы сопровождают эпигенетические месторождения — наложенные, образующиеся в результате процессов, протекающих в среде ранее сформированных вмещающих пород. Типичным представителем этих образований являются, например, жильные гидротермальные месторождения, пегматитовые и др.

Ореолы, формирующиеся в процессе эпигенетического рудообразования подразделяются на диффузионные, инфильтрационные и диффузно-инфильтрационные. Как и рудные залежи, эпигенетические ореолы приурочены к рудовмещающим структурам и часто отличаются несогласным, секущим положением по отношению к вмещающим породам. Поскольку миграция компонентов в сторону от формирующихся рудных тел зависит от ряда факторов — их подвижности, состава растворов, фильтрующих свойств среды, физико-химической обстановки и др., строение этих ореолов, соотношение элементов в них бывают довольно сложными.

Главные ореолообразующие элементы (например, для благородных и цветных металлов — Au, Ag, Cu, Pb, Sb, As, Bi и некоторые другие) являются производными от вещественного состава руд и позволяют судить о минерально-геохимическом типе скрытого месторождения. Второстепенные элементы (Co, Ni, Cd, Ba, Mo, Hg, F, J, Вг и др.) встречаются в виде примесей в жильных, рудных и породообразующих минералах, образуют как положительные, так и отрицательные ореолы и имеют большое значение при оценке уровня эрозионного среза рудных тел.

Первичные ореолы часто представляют собой непосредственное продолжение рудных тел и отличаются от них лишь меньшими содержаниями полезных компонентов. А поскольку требование промышленности к содержанию полезных компонентов в руде с течением времени меняется, то меняется и условная граница между рудой и ореолом. Это в первую очередь относится к сингенетичным месторождениям.

Форма нахождения элементов в первичных ореолах различна. Часто они образуют собственные минералы, обычно те же, что присутствуют в рудах. Неред-

ко они содержатся в виде изоморфных примесей в различных минералах вмещающих пород и новообразованных, «ореольных». Кроме того, ореолообразующие элементы могут содержаться в растворах — плечных и поровых, пропитывающих вмещающие породы. Но, вероятно, в данном случае по своей природе эти элементы могут быть отнесены и к компонентам вторичных ореолов.

Первичные ореолы практически во всех случаях характеризуются определенной зональностью в распределении элементов и их концентраций. Зональность определяется геохимическими свойствами элементов, составом вмещающих пород, стадийностью рудообразующих процессов и др. Важная роль зональности ореолов при поисках определяется тем, что по ее характеру иногда удается установить уровень эрозионного среза относительно рудного тела: надрудный, рудный, подрудный (рис. 2.3.1). Морфология первичных ореолов, как было отмечено выше, определяется в основном рудоконтролирующими стружтурами.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния — это зоны пород, преимущественно поверхностных образований, обогащенных продуктами, возникающими при процессах разрушения месторождений. Такие ореолы и потоки образуются в рыхлом покрове и почвах, растительности, грунтовых и поверхностных водах, почвенном и приповерхностном воздухе и связаны между собой. Ореолы характеризуются изометричной формой в плане, у потоков вытянутая форма, обусловленная перемещением продуктов разрушения постоянными или временными водотоками, реже другими агентами (рис. 2.3.2).

Литохимическим потоком рассеяния месторождения называется зона повышенных содержаний химических элементов, характерных для данного месторождения, прилегающая к вторичному ореолу и развивающаяся в аллювиальных, эоловых, ледниковых и других отложениях, речных, озерных и подземных водах на путях твердого и водного стоков. В направлении стока содержания химических элементов затухают, постепенно приближаясь к значениям, соответствующим местному геохимическому фону. Содержание элементов в потоке рассеяния в первую очередь зависит от положения рудных

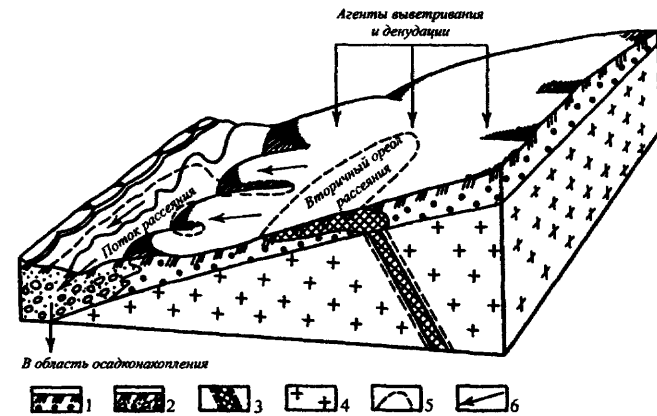


Рис. 2.3.2. Схема формирования вторичных ореолов и потоков рассеяния (по А.П. Соловову):
1 — элювиогелювий; 2 — аллювий; 3 — рудное тело и его первичный ореол; 4 — рудовмещающие породы; 5 — контур аномальных содержаний рудных элементов в продуктах выветривания, в речной воде и растительности; 6 — направление стока

тел, их первичных и вторичных ореолов в местном бассейне денудации. Месторождения, выведенные на уровень денудационного среза, в благоприятных условиях образуют литохимические потоки рассеяния протяженностью более километра. Различия в миграционной способности элементов, а также разные количественные соотношения между элементами в составе руд и первичных ореолов определяют выбор элементов-индикаторов, по которым ведут литохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Из всего многообразия типов потоков рассеяния наиболее распространены и имеют наибольшее практическое значение речные потоки рассеяния.

В зависимости от характера разрушения месторождения и фазового состояния продуктов разрушения вторичные ореолы и потоки рассеяния разделяются на механические, солевые, водные (или гидрогеохимические), газовые (атмогеохимические) и биогеохимические.

Механические ореолы формируются во всех типах рыхлых отложений от элювиальных до ледниковых при разрушении химически устойчивых полезных ископаемых. Механические ореолы обусловле-

ны повышенными концентрациями рудных минералов. По крупности и агрегатному состоянию продуктов разрушения ореолы и потоки подразделяются на крупно-обломочные (рудные развалы, валуны, галька), шлиховые (песчано-гравийные), тонкодиспергированные (глинистые).

Солевые ореолы и потоки рассеяния образуются в результате разложения, растворения, переноса и переотложения рудного вещества в поверхностных породах в виде элементов и солей. Формирование солевых ореолов и их состав в значительной степени зависят от климатических условий района, в особенности от соотношения между количеством атмосферных осадков и величиной испарения. В большинстве случаев наблюдаются совместные механические и солевые ореолы.

Водные (гидрогеохимические) ореолы представляют собой области распространения подземных и поверхностных вод, которые в результате взаимодействия с полезными ископаемыми, а также первичными и вторичными ореолами, отличаются повышенными содержаниями химических элементов, присутствующих в месторождении, и некоторых других компонентов, например, сульфат-иона, хлор-иона и др. Среди гидрогеохимических ореолов выделяются постоянные (преимущественно в глубоких водоносных горизонтах) и временные (в поверхностных и грунтовых водах), концентрации элементов в которых меняются в зависимости от обилия атмосферных осадков.

Газовые (атмогеохимические) ореолы рассеяния представляют собой локальное обогащение почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы парами и газообразными соединениями, связанными с полезными ископаемыми. Такие ореолы образуются в результате миграции элементов в газовой фазе во время формирования месторождений и в процессе их разрушения. Газовые ореолы образуются при химических преобразованиях сульфидных руд, месторождений ртути; ореолы радона, тория и гелия возникают над месторождениями радиоактивных элементов; горючие газы, гелий, углекислый газ и другие фиксируют месторождения углеводородов.

Биогеохимические ореолы представляют собой области распространения растений с повышенным содержанием типоморфных для месторождения элементов. Повышенные концентрации устанавливаются в золе растений и обусловлены избирательным поглощением различных элементов растениями. При этом в конкретных условиях элементы неравномерно распределяются по растению, накапливаясь либо в листьях, либо в стволе и т. д. Разные виды растений характеризуются избирательными свойствами концентрации элементов.

Следы старых горных выработок

Следы выработок, из которых в древности производилась добыча полезных ископаемых, отвалы таких древних разработок, археологические находки и данные, свидетельствующие о старинных горных промыслах и металлургических производствах, могут служить важным указанием на наличие полезных ископаемых. По таким признакам были обнаружены многие месторождения на Кавказе, Урале, Алтае, в Казахстане и в некоторых районах Сибири.

Измененные окколорудные породы

Процессы рудообразования обычно приводят к более или менее значительным изменениям вмещающих пород. Окколорудные изменения достаточно широко распространены. Кроме того, они различаются по типу формирующихся измененных пород, наличие которых свидетельствует о процессах минералообразования, хотя они и не всегда сопровождаются орудением. Наиболее важными для поисков являются такие типы изменений, как скарнирование, грейзенизация, окварцевание, березитизация и др.

Скарны и скарнированные породы формируются при взаимодействии интрузий умеренно кислых, реже щелочных и основных изверженных пород с вмещающими карбонатными осадочными породами или вулканогенно-осадочными, содержащими примесь известкового материала. Они состоят из гранатов, пироксенов, других известково-железистых силикатов —

воластонита, скаполита, эпидота, амфиболов и других и обычно располагаются вдоль контактов интрузива с вмещающими породами. В скарнах и скарнированных породах располагаются некоторые типы месторождений железа, кобальта, меди, полиметаллов, вольфрама, молибдена, золота и др.

Грейзены связаны с гранитными интрузиями резко выраженного кислого состава, пересыщенными глиноземом; располагаются в апикальных частях массивов и состоят в основном из кварца, слюд (мусковит, биотит, цинвальдит), топаза, турмалина, флюорита и др. В основном грейзены развиваются по интрузивным породам и в небольшой степени охватывают породы кровли — кварциты, кварцевые песчаники, кислые эффузивы и др. С грейзенами связан более узкий круг месторождений: касситеритовые, вольфрамитовые, молибденитовые, бериллиевые, танталита-колумбита и висмутовые.

Окварцованные породы. Окварцевание пород при гидротермальных процессах развито широко и сопровождается многочисленными типами месторождений. Гидротермальное изменение интрузивных и эффузивных пород кислого и среднего составов приводит к образованию так называемых вторичных кварцитов, в которых наряду с резко преобладающим кварцем присутствует серицит, каолинит, андалузит, алунит, пиррофиллит, а также рутил, турмалин и рудные минералы (пирит, халькопирит, молибденит, гематит и др.). С формой вторичных кварцитов связаны некоторые промышленные типы медных, модно-молибденовых и молибденовых месторождений, известных под названием меднопорфировых.

Особый тип пород представляют собой окварцованные известняки — *джаспероиды*, состоящие из мелкозернистого кварца и халцедона и реликтов кальцита и доломита. Этот тип изменений околорудных пород наблюдается на некоторых месторождениях свинца и цинка, а также сурьмы и ртути.

Березиты представляют собой гидротермально измененные породы, образованные главным образом за счет гранитоидных пород (гранит-порфиров, кварцевых порфиров и др.) и состоящие из кварца и серицита с примесью пирита и рутила. Березитизация со-

провождает образование золоторудных жильных месторождений и некоторых молибденовых, вольфрамовых, медных и др.

Помимо перечисленных широким развитием пользуются и другие типы гидротермального изменения боковых пород, сопровождающие процессы формирования месторождений. Так, гидротермальные месторождения, локализованные в породах основного состава, нередко сопровождаются лиственитизацией — образованием метасоматического карбонат-кварцевого парагенезиса с примесью пирита, хлорита, талька, серицита, серпентинита, актинолита и др.

В ультраосновных породах наблюдается серпентинизация и оталькование. Приповерхностные вулканогенные месторождения золото-серебряных, сурьмяных и полиметаллических руд, приуроченные к вулканогенным породам преимущественно андезито-дацитового состава, часто сопровождаются пропилитизацией — замещением боковых пород ассоциацией хлорита, карбонатов, эпидота, пирита и др.

Некоторые, в том числе широко распространенные типы изменений, называются по ведущим новообразованным минералам: каолинизация, алунитизация, цеолитизация, турмалинизация, графитизация, флюоритизация, гематитизация, баритизация и др.

К группе околорудных измененных пород относят породы, претерпевшие вторичные изменения, т. е. преобразования вмещающих рудные залежи пород в зоне окисления. Они выражаются обычно в осветлении пород, широком развитии охр, возникающих при окислении сульфидных руд, образовании иногда «железных шляп», состоящих из гетита, гидрогетита, гематита, халцедона, опала, пирита, малахита и др. Железные шляпы, являясь хорошим поисковым признаком, нередко сами представляют объекты промышленной разработки (железо, золото, малахит и др.).

Геофизические аномалии

Тела полезных ископаемых по своим физическим свойствам нередко существенно отличаются от вмещающих пород. Это обуславливает возникновение анома-

лий в геофизических полях и возможность выявления их соответствующими методами. Геофизические аномалии являются поисковыми признаками месторождений, хотя далеко не все они бывают вызваны присутствием залежей полезных ископаемых.

Гравитационные аномалии, т. е. зафиксированные в гравитационном поле участки с отклонениями значения ускорения силы тяжести от нормальных, обусловлены неоднородностью строения земной коры. Положительные аномалии бывают вызваны наличием относительно крупных масс пород с высокими плотностными характеристиками. Такие аномалии часто фиксируются над залежами железных руд, хромитов, сульфидов и др.

Магнитные аномалии — изменения напряженности магнитного поля, вызванные присутствием неоднородных по магнитным свойствам пород. Обычно тела полезных ископаемых характеризуются повышенными, сравнительно с вмещающими породами, содержаниями магнитных минералов, вызывают положительные магнитные аномалии, интенсивность которых зависит от типа руд и их объема. Хрестоматийными примерами месторождений, интенсивно возмущающих магнитное поле, являются Курская магнитная аномалия и гора Магнитная на Урале.

Электрические аномалии. Присутствие среди относительно однородных вмещающих пород объектов, отличающихся от них своими электрическими свойствами, обуславливает возникновение электрических аномалий, т. е. отклонений электромагнитного поля от его нормального значения. В зависимости от того параметра, который принят в каждом конкретном случае для характеристики поля, существуют аномалии кажущегося удельного электрического сопротивления, аномалии естественного электрического поля, аномалии вызванной поляризации и др. Руды многих месторождений по сравнению с вмещающими породами характеризуются повышенной электропроводностью, более низкими показателями электрического сопротивления и т. д. Разнообразные методы электроразведки, позволяющие измерять различные параметры естественно-го и искусственных электрических полей, используют-

ся для выявления объектов с отличными от общего фона электрическими свойствами.

Радиоактивные аномалии, вызванные присутствием повышенных концентраций радиоактивных элементов в рудах, служат надежным поисковым признаком для обнаружения месторождений радиоактивного сырья. Благодаря высокой миграционной способности радиоактивные элементы проникают во вмещающие породы, в почвы; газообразные продукты радиоактивного распада фиксируются в почвенном воздухе.

В качестве поисковых признаков используются и другие аномалии — сейсмические, сейсмоэлектрические и др.

Геофизические аномалии отражают неоднородность строения изучаемых участков земной коры. Поэтому при использовании геофизических поисковых методов едва ли не самой трудной и ответственной задачей является выяснение природы установленных аномалий, выделение тех из них, которые обусловлены залежами полезных ископаемых.

Геофизические аномалии, выявленные над месторождениями, не только фиксируют скопления тех или иных полезных ископаемых, но по своим показателям — интенсивности, площади, конфигурации и др. — позволяют в некоторых случаях оценить масштабы объекта, глубину и характер залегания и другие параметры.

Геофизические аномалии используются не только как признаки залегающих в недрах тел полезных ископаемых. Интерпретация геофизических материалов оказывает существенную помощь в расшифровке особенностей геологического строения и, в частности, в выявлении ряда геологических предпосылок: например, участков развития измененных пород, положения и ориентировки разрывных рудоконтролирующих структур и т. д.

Геоморфологические поисковые признаки

При поисках полезных ископаемых в некоторых случаях могут быть использованы особенности микрорельефа исследуемой территории. Дело в том, что зале-

жи полезных ископаемых могут существенно отличаться от вмещающих пород по степени устойчивости к агентам выветривания. Поэтому тела полезных ископаемых, выходящие на поверхность, могут фиксироваться отрицательными формами рельефа — депрессиями, впадинами, карстовыми воронками, если они легко выветриваются, разрушаются, выщелачиваются и т. д. И наоборот, устойчивые тела нередко выступают в рельефе в виде гряд, цепочек коренных выходов, образуют уступы и другие положительные элементы рельефа.

Геоморфологические поисковые признаки лежат в основе поисков всех типов россыпей: золота, платины, алмазов, касситерита и других устойчивых минералов; формирование россыпей тесно связано с преобразованиями форм рельефа.

Типы и виды поисковых признаков не ограничиваются перечисленными группами. Поисковыми признаками могут служить самые разнообразные факты и явления: характер растительности, окраска пород, текстурно-структурные их особенности, наличие типоморфных минералов в породах или шлихах, типоморфных элементов или их групп в минералах и т. д. При этом информативность признаков для разных групп месторождений различна. На самом деле для каждого промышленного типа месторождений, являющегося объектом поисков, должен быть установлен свой сугубо индивидуальный комплекс поисковых признаков. От того, насколько правильно установлен такой комплекс, во многом зависит успех поисковых работ.

2.4. Прогнозно-поисковые модели месторождений

В практике поисков месторождений полезных ископаемых широко используется принцип геологической аналогии (Смирнов, 1954; Каждан, 1984 и др.), который основан на том, что месторождения, сформированные в близких геологических условиях, обладают чертами сходства условий залегания. Это дает возможность создавать эталонные модели месторождения, обладающие всеми основными свойствами реальных

объектов. Как показывает практика поисковых работ, использование эталонов-аналогов помогает в решении ряда конкретных поисковых задач.

Научно-методической основой применения принципа аналогии являются типовые прогнозно-поисковые модели, состоящие из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства. Эти элементы определяют геологические обстановки локализации объекта поисков, они включают геологические предпосылки, поисковые критерии и другие показатели, характеризующие наличие и степень проявления рудообразующих процессов (Кривцов, 1989 и др.). На основе этих элементов выделяются свойственные данному геолого-промышленному типу характеристики месторождений, которые помогают определить систему поисковых критериев и признаков и наметить совокупность поисковых методов. Иными словами, прогнозно-поисковые модели дают ответ на вопросы: как выглядит скопление рудного вещества, в какой геологической обстановке и по каким признакам оно может быть обнаружено и оценено?

Моделирование объектов поисков является важной частью геологоразведочного процесса — от ранних до конечных его стадий. На каждой стадии выявляется определенный комплекс признаков в соответствии с масштабом (детальностью) проводимых работ; при этом проводится сопоставление получаемых результатов с эталоном, оценка надежности построений, корректировка самой модели.

Основные элементы прогнозно-поисковых моделей:

- ассоциации горных пород, рудоносные формации, их части (фации, фазы и т. п.) в закономерных сочетаниях, определяемых структурой или (и) палеотектонической обстановкой месторождения; совокупность перечисленных факторов определяет условия нахождения объекта;
- наличие и уровни концентраций косвенных (минеральных, химических, физических) индикаторов данного типа оруденения, выявляемых на основе применения минералогических, геохимических и геофизических поисковых методов;

- совокупность прямых признаков (минеральных, физических, химических), указывающих на наличие данного вида полезного ископаемого;
- изменение характеристик элементов модели в зависимости от геологической обстановки (признаки скрытого оруденения, влияние перекрывающих толщ, уровень эрозионного среза, пострудные дислокации и регенерация рудных тел и т. д.).

Содержательные характеристики моделей иллюстрируются на примере медно-никелевых месторождений (табл. 2.4.1; рис. 2.4.1).

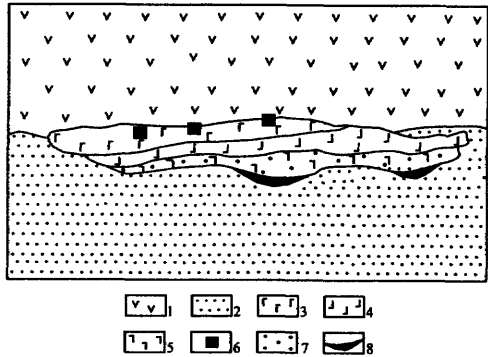


Рис. 2.4.1. Прогнозно-поисковая модель месторождения медно-никелевых платиноносных руд:

- 1 — вулканогенные образования; 2 — осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 3–5 — рудоносный интрузив:
3 — лейкократовые, 4 — мезократовые, 5 — меланократовые породы; 6 — позиция малосульфидных платиноидных руд; 7 — зоны внутриинтрузивных вкрапленных руд; 8 — придонные тела массивных и экзоконтактовых прожилково-вкрапленных руд

Основные элементы прогнозно-поисковых моделей отражаются в графической форме системой планов и разрезов, демонстрирующих взаимосвязь элементов для данного типа месторождений и могут быть представлены в виде частных моделей, которые объединяют соответствующие группы критериев и признаков: геолого-структурная, метасоматическая, рудно-минералогическая, геохимическая и геофизическая.

Например, для месторождений олово-силикатного геолого-промышленного типа они выглядят следующим образом (рис. 2.4.2).

Геолого-структурная модель (II). Отображает литологические, магматические, структурные и морфологические критерии локализации месторождений олово-силикатного типа.

Таблица 2.4.1

Характеристика моделей сульфидных медно-никелевых месторождений (по В.И. Кочневу-Первухову и А.И. Кривцову, с упрощениями)

Элементы-признаки	Содержание признака
1. Рудоносные магматические тела 1.1. Состав и формационная принадлежность	Дифференцированные габбро-долеритовые
1.2. Форма интрузивов	Протяженные лентовидные с частыми перепадами мощностей
2. Экзоконтактовые изменения	Роговики, альбит-микрклиновые метасоматиты, скарны
3. Внутреннее строение магматического тела 3.1. Верхние части	Эруптивные брекчии, габбро, габбро-диориты, габбро-долериты
3.2. Средние части	Габбро-долериты
3.3. Нижние (придонные) части	Габбро-долериты
4. Рудные тела 4.1. Положение относительно фаций (фаз) магматических массивов	1. Верхние контактовые прожилково-вкрапленные руды — породы кровли и эндоконтактовые габбро. 2. Вкрапленные руды — габбро-долериты. 3. Массивные руды — придонные части массивов на участках раздвигания их мощностей. 4. Нижние контактовые прожилковые руды — под телами массивных руд
4.2. Морфология рудных тел	1. Верхние и контактовые прожилково-вкрапленные руды — прерывистые пластообразные тела и линзы. 2. Вкрапленные руды — протяженные по всему простиранию интрузива пластообразные тела. 3. Массивные руды — пласто- и линзообразные уплощенные тела. 4. Нижние контактовые прожилково-вкрапленные руды — пласто- и линзообразные уплощенные тела
4.3. Минеральный состав руд	Пирротин, халькопирит, кубанит, борнит, таллахит, миллерит, пирит, халькозин, магнетит, минералы металлов платиновой группы
5. Геохимические признаки	Повышение локального фона Cu, Ni, Co, Zn и других элементов
6. Геофизические признаки	Линейные гравиметрические и магнитометрические аномалии под рудоносными массивами

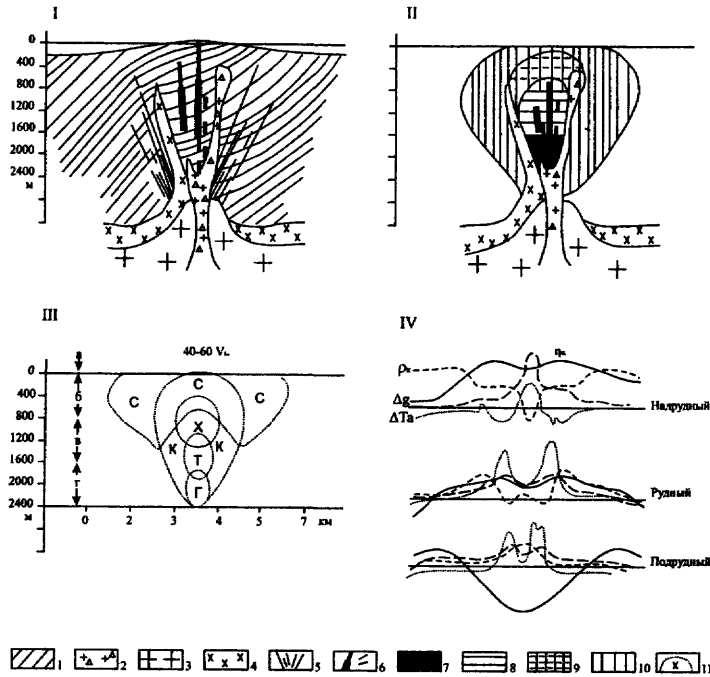


Рис. 2.4.2. Прогнозно-поисковая модель месторождений олово-силикатного промышленного типа (по А.Б. Павловскому и др., с упрощением):
 Модели: I — геолого-структурная, II — метасоматическая, III — рудно-геохимическая, IV — геофизические графики на срезах;
 1 — терригенные породы; 2 — трубки взрыва кислого состава; 3 — граниты; 4 — гранодиорит-порфиры, кварцевые диоритовые порфиристы; 5 — разрывные нарушения; 6 — рудные тела: а — жильные, б — прожилково-вкрапленные зоны и штокверки; 7–10 — фации локальных метасоматитов: 7 — подрудных, 8 — рудовмещающих, 9 — надрудных, 10 — фланговых; 11 — границы распространения минеральных типов оруденения: С — сульфидно-сульфосольного, К — колчеданного, Х — хлоритового, Т — турмалинового, Г — грейзенового; положение определяющих эрозионный срез геохимических ассоциаций: а — Au-Ag, б — Pb-Zn-Ag, в — Sn-Cu-As, г — W-Mo; на графиках IV: Δg — поле силы тяжести, ΔTa — магнитное поле, ρ — удельное сопротивление, η — полярзуемость

Литологические и магматические критерии. Оловорудные объекты располагаются среди терригенных пород, как правило, характеризующихся флишoidalным

строением, полимиктовым составом с преобладанием аркозов. Оруденение парагенетически связывается с пестрыми по составу интрузивными телами диорит-монцогранодиорит-гранитной формации.

Структурные и морфологические критерии. Месторождения формируются в рудно-магматической системе, наложенной на вмещающие образования. Система возникла на разломе, по которому внедрялись гранитоиды, их внедрение вызвало формирование конусообразной структуры, обращенной вершиной вниз. Разрывные нарушения, составляющие остов структуры, имеют в разрезе пучковое расположение и контролируют положение рудных тел. В нижней части структуры преобладают штокверковые рудные тела, в верхней — жилы.

Метасоматическая модель (II). Рудовмещающее пространство отчетливо ограничено границей распространения фаций локальных метасоматитов. Внизу слабо развита подрудная грейзеновая фация, сменяющаяся выше зоной рудовмещающих окварцованных и серицитизированных пород, в которой локализованы основные рудные тела. Далее по восстанию зона постепенно переходит в пропилютоподобную с затухающей оловянной минерализацией. Эта фланговая фация локальных метасоматитов окружает центральную часть во всем объеме рудно-магматической структуры.

Рудно-геохимическая модель (III). Объединяет минералогические и геохимические критерии и демонстрирует хорошую дифференцированность оруденения во всем объеме рудно-магматической системы.

Минералогические критерии. Концентрации минералов олова тяготеют к центральной части структуры, где образуют эндогенную рудную колонну. В нижней ее части расположена убогая грейзеновая минерализация с касситеритом, сменяющаяся выше продуктивными касситерит-турмалиновым и касситерит-хлоритовым минеральными типами руд. На верхних горизонтах и на флангах олово-силикатные руды сменяются сульфидными с пониженным содержанием олова. В осевой части развито преимущественно колчеданно-полиметаллическое оруденение, которое в верхнерудной части и на флангах сменяется сульфосольно-полиметаллическим.

Геохимические критерии. На месторождениях олово-силикатного типа отмечается четкая геохимическая зональность: для подрудной части характерно присутствие вольфрама и молибдена; для рудной части — олова, меди и мышьяка; надрудную часть отличают серебро-полиметаллические геохимические аномалии. На периферии рудного поля геохимическую зональность продолжают ореолы золота и серебра, а на еще большем удалении — ореолы ртути и сурьмы.

Геофизическая модель (IV). На геофизических графиках видно изменение величин плотности ($\Delta\rho$), магнитной восприимчивости ($\Delta T\alpha$), удельного сопротивления (ρ) и поляризуемости (η) пород рудно-магматической системы, различающиеся над месторождением, его флангами и периферии. Для надрудного и верхнерудного срезов характерна положительная гравитационная аномалия, совмещенная с переменным магнитным полем. На рудном срезе в поле силы тяжести на фоне положительных значений отмечаются две локальные положительные аномалии на флангах месторождения и отрицательная аномалия над его продуктивной частью. Подрудный срез характеризуется глубоким минимумом силы тяжести, осложненным на периферии локальными положительными аномалиями. Общее близкое к нулевым значениям магнитное поле над месторождением образует положительную аномалию с минимумом над продуктивной частью. Слабоповышенное удельное электрическое сопротивление совмещено с положительной аномалией поляризуемости с минимумом в центральной части и максимальными значениями на флангах.

Выявление характерных черт различного по рудоносности частей месторождений — надрудных, рудных и подрудных — способствует эффективному их прогнозу, поискам и оценке.

Так, *надрудные части* месторождений олово-силикатного типа обычно не содержат прямых признаков присутствия рудных тел на глубине, поэтому при их поисках следует обращать внимание на наличие пропитанных пород, сульфидизации и окварцевания, колчеданной и полиметаллической минерализации, надрудных литогеохимических ореолов серебро-полиметаллических аномалий с появлением на периферии рудно-

го поля ореолов ртути и сурьмы, положительные гравитационные и переменные магнитные аномалии.

Рудные части месторождений рассматриваемого типа отличаются наличием: жил в верхних и центральных частях и штокверков в нижних, зон турмалинитов и хлоритовых метасоматитов, сопряженных с рудными телами, рудных литогеохимических ореолов олова, меди и мышьяка, отрицательной аномалии поля силы тяжести над центральной частью на фоне положительных значений, продуктов гипергенеза сульфидной минерализации при интенсивных процессах окисления с образованием вторичных минералов железа, меди и мышьяка.

Подрудные части отвечают рудным полям и месторождениям с глубоким уровнем эрозионного среза, близким к выклиниванию рудных тел. Для подрудных частей оруденения олово-силикатного типа характерно появление признаков практически безрудной грейзенизации с молибденитом и вольфрамитом. Вольфрам и молибден присутствуют в геохимических полях. Подрудный срез характеризуется глубоким минимумом силы тяжести, отражающим наличие гранитов, в отдельных случаях вскрываемых на глубоких горизонтах.

Итак, на базе комплексного описания формируются графические прогнозно-поисковые модели месторождений, отражающие позиции рудных тел относительно различных частей (надрудных, рудных, подрудных, фланговых) околорудного пространства и возможности их обнаружения при различных вариантах расположения эрозионного среза.

Таким образом, прогнозно-поисковые модели используются при обосновании благоприятных обстановок выявления месторождений, способствуют повышению эффективности поисков и оценки промышленных перспектив выявленных месторождений.

2.5. Методы поисков

При поисках месторождений используются разнообразные методы, направленные на обнаружение самих залежей, а также всех видов аномалий, вызван-

ных ими. В соответствии с этим методы поисков могут быть подразделены на геологические, минералогические, геохимические и геофизические. Отдельную группу составляют горно-буровые методы, которые используются для проверки результатов, полученных каждым или комплексом перечисленных методов, и для непосредственного вскрытия залежей полезных ископаемых, положение которых предварительно оценено по характеру размещения выявленных аномалий.

По условиям, в которых ведутся поисковые работы, методы поисков подразделяются на дистанционные (космические и аэрометоды), наземные и подводные.

Таким образом, классификация поисковых методов может быть представлена в следующем виде.

I. Космические методы поисков. Геологическое и поисковое дешифрирование материалов различных космосъемок — цветных, спектрзональных и других специализированных съемок и измерений.

II. Аэрометоды.

1. Аэрогеологические методы: а) аэровизуальные геологические и поисковые наблюдения; б) геологическое и поисковое дешифрирование аэрофотоматериалов.
2. Аэрогеофизические методы: а) аэромагнитометрическая съемка; б) аэроадиометрическая съемка; в) аэроэлектрометрическая съемка.
3. Аэротранспортные и аэродесантные методы: а) для проведения наземных геологических, минералогических и геохимических исследований; б) для проверки наземных геофизических исследований.

III. Наземные методы.

1. Геологические методы: а) метод геологической съемки — универсальный поисковый метод; б) методы специализированных геологических съемок.
2. Геолого-минералогические методы.

А. Метод изучения и оценки выходов полезных ископаемых на современную поверхность.

Б. Минералогические методы изучения и оценки ореолов рассеяния минералов: а) в рыхлых отложениях — обломочно-речной (руслый), валунно-ледниковый, шлиховой; б) в коренных породах — метод минералогического картирования, протоочно-шлиховой, шлихо-взрывной.

3. Геохимические методы.

А. Литогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов: а) в рыхлых отложениях — спектрометрические (металлометрические) и микрохимические методы по почвам и элювиально-делювиальным отложениям, донным осадкам, торфяным и другим образованиям; б) в коренных породах — спектрометрические и микрохимические методы.

Б. Гидрогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов: а) в поверхностных водотоках; б) в подземных водах.

В. Биогеохимические методы изучения и оценки: а) ореолов рассеяния химических элементов в растениях (биогеохимические методы); б) ореолов развития определенных видов растений, связанных с геохимическими особенностями почв (геоботанический метод).

Г. Атмогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния: а) радиоактивных эманаций (эманационный метод); б) газов (метод газовой съемки).

4. Геофизические методы. Методы изучения и оценки геофизических аномалий, обусловленные телами полезных ископаемых, структурами, их вмещающими, сопровождающими их породами, или сочетанием этих факторов: магнитометрические, гравиметрические, сейсмометрические, электрометрические, радиометрические, ядерногеофизические.

5. Горно-буровые методы, основанные на использовании для поисков: А. Горных выработок. Б. Буровых скважин.

IV. Подводные методы поисков.

Применяются для поисков полезных ископаемых, скрытых под водами рек, озер, морей, океанов.

1. С подводных кораблей.
2. С подводных кораблей.
3. Аквалангистами.

Подробному описанию различных методов, условий их применения, возможностей, точности, достоверности, способов интерпретации посвящены специальные учебные курсы, многочисленные методические руко-

ководства и другая специальная литература. Общая характеристика основных групп поисковых методов сводится к следующему.

Методы геологического картирования

Группа методов геологического картирования включает геологические методы, используемые при геологической съемке и поисках полезных ископаемых различных масштабов. Сама по себе геологическая съемка имеет самостоятельное значение как один из главных методов поисков. Только путем анализа геологических карт выявляются геологические закономерности, контролирующие размещение полезных ископаемых в данном районе. Геологическая карта служит также основой для постановки других методов поисков, т. е. знание геологического строения изучаемой территории, наряду с другими факторами, позволяет правильно выбрать методы поисков, определить их масштаб, направление поисковых линий, густоту точек наблюдения и главное — правильно интерпретировать фактические материалы, полученные в результате работ. Наконец, сведения о геологическом строении исследуемой площади в комплексе с другими материалами, собранными при поисках, позволяют произвести обоснованную геологическую оценку перспектив выявленного объекта и дать прогноз его возможного промышленного значения.

Масштаб геологических съемок, проводимых с целью поисков, зависит от сложности геологического строения изучаемой площади и от поставленных задач. Геологические карты масштабов 1:100 000 — 1:1 000 000 называются региональными. По содержанию эти карты комплексные. На них должны быть отражены все необходимые данные, имеющие отношение к геологическим предпосылкам поисков и поисковым признакам. Карты масштабов 1:50 000 — 1:25 000 также должны быть комплексными, но специализированными на определенный вид полезного ископаемого. Для изучаемого района они служат основным документом, обосновывающим постановку поисковых работ.

На основе геологической карты масштабов 1:50 000 — 1:25 000 объектами оценки являются потенциальные

рудные поля. При поисках этого масштаба могут быть выявлены лишь весьма крупные месторождения относительно простого геологического строения: месторождения углей, минеральных солей, осадочные месторождения железа и марганца и некоторых других полезных ископаемых. При более детальных поисковых и поисково-оценочных работах, которые проводятся в контурах обнаруженных рудных полей, производятся специализированные крупномасштабные геологические съемки 1:10 000 — 1:5000 и крупнее.

Специализация геологических съемок при поисковых работах заключается в том, что главное внимание уделяется выявлению ведущих поисковых предпосылок прогнозируемого полезного ископаемого, а их изучение проводится с предельно возможной детальностью. Специализированное геологическое картирование как важнейший элемент входит во все рациональные системы поисковых работ.

Для выявления ведущих поисковых предпосылок изучаемых рудных полей и месторождений составляется несколько специализированных карт, позволяющих выявить или детализировать рудоконтролирующие элементы структур и сконцентрировать на них поисковые работы — геолого-структурные, литолого-фациальные, палеовулканические и др.

Кондиционность геологической карты заключается в соответствии ее содержания масштабу. Чем крупнее масштаб карты, тем подробнее должна быть легенда, более дробным расчленением комплексов пород, выделением структурных элементов и т. д. Кроме того, все контуры, границы, элементы залегания пород должны быть установлены более точно и обоснованно. Следовательно, чем крупнее масштаб геологической карты и сложнее геологическое строение района, тем большее количество наблюдений требуется на единицу исследуемой площади.

Большое значение при проведении геологической съемки (в том числе и крупномасштабной) и поисков имеет использование материалов космо- и аэросъемки (материалов дистанционного зондирования), получаемых при использовании съемочных систем, работающих в оптическом и микроволновом диапазоне, ра-

диодиапазоне электромагнитного излучения. В настоящее время при геологических исследованиях в основном используются данные аэросъемок и съемок с автоматических спутников околоземных орбит. Аэросъемки проводятся в масштабах 1:2000 – 1:5000 (разрешение на местности — десятки сантиметров), 1:16 000 – 1:50 000 (разрешение на местности — первые метры), 1:50 000 и мельче (разрешение на местности — многие метры). Космические съемки подразделяются на съемки высокого разрешения на местности (лучше 10 м), среднего (10 – 100 м), низкого (хуже 100 м).

Материалы дистанционного зондирования позволяют выявлять практически весь комплекс геолого-тектонических элементов, являющихся объектами изучения при геологической съемке: площадных и стратифицированных и нестратифицированных объектов и прослеживание их границ, отдельных пластов и маркирующих горизонтов, даек, разрывных нарушений, выделение тектонических блоков складчатых и кольцевых структур, размещения и особенностей магматических пород, а также решать ряд поисковых задач: выделение рудоконтролирующих структур, установление ареалов гидротермально-метасоматических измененных пород, размещение зон окисления и др.

В целом использование материалов дистанционного зондирования дает более полную и объективную картину пространственных особенностей изучаемых территорий и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

Геолого-минералогические методы

Геолого-минералогические поиски месторождений твердых полезных ископаемых основаны на визуальном выявлении и прослеживании ореолов и потоков механического рассеяния, в зависимости от характера которых выделяются валунно-ледниковый, валунно-обломочный и шлиховой методы. К геолого-минералогическим методам относятся также минералого-петрологические и минералогические исследования, направленные на изучение окolorудных метасоматитов, вкраплено-прожилковой минерализации и

картирования кристалломорфических свойств минералов. Все они не имеют самостоятельного поискового значения и используются в комплексе со специализированным геологоразведочным картированием или другими видами геологоразведочных работ.

Валунно-ледниковый метод используется геологами Канады, скандинавских стран и России при поисках месторождений, перекрытых плащом ледниковых отложений. С помощью валунно-ледникового метода обнаружены многие месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых. Он заключается в поисках рудных валунов и валунов-спутников в нижних горизонтах донных морен. Как правило, от коренного месторождения валуны расходятся в виде веера, расширяющегося в сторону движения ледника. Совместный анализ расположения валунного веера и геологической карты позволяет выделить перспективные площади обнаружения коренных месторождений.

Обломочный метод основан на изучении алаувиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния. Сущность его заключается в обнаружении в отложениях обломков руды или сопутствующих минералов-индикаторов и прослеживании их вплоть до коренного выхода руды.

Обломочный метод применяется в горно-таежных районах в комплексе со специализированным геологическим картированием. С его помощью обнаруживаются коренные выходы многих рудных и нерудных полезных ископаемых, устойчивых в зоне гипергенеза, зон окварцованных и метасоматических измененных пород.

Шлиховой метод заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений, изучении состава шлихов, прослеживании и оконтуривании шлиховых ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых.

Шлихами называются концентраты, получаемые путем промывки рыхлых отложений, а также измельченных горных пород и минеральных скоплений. Шлиховой метод применяется для поисков полезных минералов, обладающих большой плотностью, механи-

ческой прочностью и устойчивостью в поверхностных условиях. К этим минералам относятся золото, минералы платиновой группы, касситерит, алмаз, вольфрам, колумбит, шеелит, киноварь и ряд других минералов (табл. 2.5.1). Вблизи коренных выходов рудных залежей в шлихах отмечаются и нестойкие минералы, например сульфиды.

Шлиховые ореолы могут формироваться в рыхлых отложениях всех генетических типов — в аллю-

Таблица 2.5.1

Главнейшие минералы шлихов

Минерал	Плотность d , г/см ³	Фракция	
Магнетит	4,9–5,2	Магнитная	
Ильменит	5,0	Электромагнитная	
Лимонит	3,6–4,0		
Хромит	4,1–4,9		
Вольфрамит	6,7–7,5		
Колумбит-Танталит	5,15–8,2		
Гранаты	3,4–4,3		
Пироп	3,5–3,8		
Монацит	4,9–5,5		
Рутил	4,2		Немагнитная тяжелая
Циркон	4,2–4,86		
Бадделейт	5,5–6,0		
Апатит	3,13–3,23		
Корунд	3,95–4,1		
Касситерит	6,8–7,1		
Шеелит	5,8–6,0		
Пирит	4,95–5,1		
Золото	19,3		
Кварц	2,65	Немагнитная легкая	
Полевые шпаты	2,5–2,76		

виальных, делювиальных, элювиальных и других. Наибольшее поисковое значение имеют аллювиальные и элювиально-делювиальные ореолы. В зависимости от механической устойчивости минералов они могут образовывать шлиховые ореолы и россыпи протяженностью от нескольких километров до многих десятков километров. О расстоянии до коренных источников рудных минералов в аллювиальных ореолах можно судить по степени окатанности их зерен и по наличию сростков с другими минералами, которые указывают на близость коренных рудных выходов.

Отобранные шлиховые пробы массой от нескольких десятков до ста и более килограммов (в зависимо-

сти от гранулометрического состава опробуемых отложений, вида и состава полезных минералов) подвергаются обогащению посредством промывки в лотках, промывальных устройствах и приборах. Пробы промываются до получения шлихового концентрата шлиха. Полученные шлихи взвешиваются, разделяются на фракции по крупности зерен, минералы мелкой фракции подвергаются магнитной, электромагнитной и гравитационной сепарации.

Участки проявления аномальных концентраций рудных минералов выделяются по результатам оптического (под биноклем и микроскопом) определения минералов в полученных фракциях шлихов и их диагностики с применением микрохимического, люминесцентного анализов и других методов. При этом описываются кристаллографические характеристики минералов, наличие сростков с другими минералами, степень окатанности зерен, изучаются ассоциации и химический состав минералов. Исходный вес или объем промываемой пробы, вес полученного шлиха и результаты количественного определения составляющих их минералов пересчитываются на содержание ценных компонентов на кубометр или тонну рыхлых отложений.

В последние годы на стадии общих и детальных поисков используется шлиховой **минералого-геохимический метод**, являющийся разновидностью шлиховых методов поисков. Сущность метода заключается в изучении состава и особенностей распределения рудных элементов и элементов-примесей в околорудном пространстве по результатам анализа шлиха, его отдельных фракций или отдельных минералов.

Выявление аномальных участков основывается на изучении минералов-концентраторов рудных элементов и гидроксидов. Минералы-концентраторы (гранаты, пироксены, амфиболы, турмалин, пирит и др.) характеризуются повышенными (в 50–100 и более раз) содержаниями искомым элементов. Они дают возможность проводить шлихо-геохимические поиски по шлихам, в которых отсутствуют промышленно-ценные рудные минералы.

Энергетичным сорбентом рудных элементов являются гидроксиды железа (лимонит), образующиеся

при окислении руд и содержащие в 100–1000 раз больше рудных элементов, чем лимониты, отобранные из безрудных участков.

Минералогическому и геохимическому анализу подвергаются все шлихи, отмываемые при проведении поисковых работ. После промывки пробы легкая фракция отделяется в бромформе, тяжелый остаток разделяется на магнитную, электромагнитную и неэлектромагнитную фракцию. Контрастность аномалий резко увеличивается, если анализируется не весь шлик, а отдельные его фракции — концентраторы рудных элементов.

Поисковая информативность анализа фракций зависит от типа искомого месторождения и их типового минерального состава. В частности, для поисков золоторудных месторождений, на которых одним из главных минералов-концентраторов золота является пирит, геохимическому анализу подвергается неэлектромагнитная фракция. Если пирит окислен и замещен гидроксидами железа, то в первую очередь анализируется электромагнитная фракция. Эту фракцию необходимо анализировать и при поисках полиметаллических руд скарнового типа.

Сочетание в одном методе минералогической и геохимической информации существенно увеличивает достоверность и результативность поисков. Метод может применяться при поисках коренных месторождений благородных, цветных и редких металлов, сопровождающихся ореолами пиритизации. Особенно широкое применение метод находит при поисках месторождений, не выходящих на поверхность, а также при поисках месторождений, не сопровождающихся шлиховыми ореолами рудных минералов, устойчивых в зоне окисления (например, сульфидных).

Рудные объекты сопровождаются комплексными шлихогеохимическими ореолами Au, Ag, As, Sb, Bi, Pb, Zn, Cu, Ba и других элементов, которые в зависимости от масштабов оруденения прослеживаются на расстояния от сотен метров до 1–2 км от месторождения. Содержания ореолообразующих элементов возрастают по направлению к месторождению и вблизи месторождения в 100 и более раз превышают фоновые. Глу-

бинность метода соответствует глубине расчленения рельефа.

Применение шлихового минералого-геохимического метода показало его высокую эффективность в различных ландшафтно-геохимических условиях.

При проведении шлиховой минералого-геохимической съемки масштаба 1:50 000 в Талдыбулакском рудном районе (Срединный Тянь-Шань) было выявлено рудное поле, включающее золото-сульфидное месторождение и несколько полиметаллических проявлений, которые отчетливо выделились мономинеральными ореолами фуксита, пентагондодекаэдров пирита, рутила, гидротермального кварца, барита и отрицательными ореолами хлорита, апатита, полевого шпата.

В результате спектрального анализа электромагнитной фракции шлихов выявлены шлихо-геохимические ореолы — положительные (Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn) и отрицательные (Co, Mo).

Детальной шлиховой минералого-геохимической съемкой масштаба 1:10 000 на Олимпиадинском золото-сульфидном месторождении показано, что все рудные тела сопровождаются комплексными положительными минералогическими ореолами знакового золота, гидрооксидов железа, пирита и геохимическими ореолами Au, As, Sb, W, Ag. Отрицательные ореолы образуют молибден и минералы: гранат, биотит и хлорит. Наиболее достоверно рудные тела выявляются при комплексном изображении положительных (благоприятных) и отрицательных (неблагоприятных) минералогических признаков и мультипликативного показателя $Au \times As \times Sb \times W$.

Геохимические методы

Геохимические методы поисков полезных ископаемых основаны на выявлении, оконтуривании и оценке локальных ореолов элементов-индикаторов рудной минерализации и элементов-спутников в коренных породах, рыхлых отложениях, природных водах, растениях и газах. В зависимости от этого различают литохимические, гидрохимические, биохимические и атомохимические методы поисков. Литохимические мето-

ды основаны на исследовании состава и особенностей распределения химических элементов в горных породах, продуктах их выветривания и почвах, гидрохимические — состава природных поверхностных и подземных вод, атмосферические основаны на изучении газового состава подземной атмосферы и ее приземных слоев; при биохимических исследуется химический состав растений и их остатков.

Наибольшим распространением пользуются литохимические методы. Они проводятся по первичным, вторичным ореолам и по потокам рассеяния рудообразующих элементов-индикаторов.

Поиски по первичным ореолам. Литохимический метод поисков по первичным ореолам применяется на всех стадиях поисковых работ. Сущность метода заключается в определении состава и особенностей распределения химических элементов, образующих аномальные концентрации в руде и околорудном пространстве. Поиски по первичным ореолам основаны на опробовании коренных пород или обломочной фракции элювиально-делювиальных отложений. Отбор геохимических проб производится из естественных обнажений коренных пород, поверхностных и подземных горных выработок и керн скважин раздельно для неизмененных пород, зон тектонических нарушений, прожилково-вкрапленной, жильной, рудной и нерудной минерализации. Опробование производится методом пунктирной борозды путем отбора из интервала опробования около 10 мелких сколков. Интервал опробования определяется масштабом работ и сложностью геологического строения (табл. 2.5.2).

Таблица 2.5.2

Интервалы отбора геохимических проб при поисках по первичным ореолам

Масштаб работ	Расстояние между профилями, м	Интервал опробования в профиле, м
1: 50 000	500	100–50
1:25 000	250	50–20
1:1000	100	20–10
1:5000	50	10–5
1:2000	20	5

Выявление и оконтуривание первичных ореолов осуществляется по результатам анализов геохимиче-

ских проб по общепринятой методике (Инструкция по геохимическим методам, 1983), основанной на сравнении геохимических параметров с параметрами фонового распределения элементов. За величину последнего принимается среднеарифметическое содержания элементов из всей выборки проб, отобранных из вмещающих пород, не затронутых какими-либо рудообразующими процессами.

Характерной особенностью первичных ореолов является горизонтальная и вертикальная зональность их строения, выражающаяся в закономерном изменении концентрации некоторых химических элементов в надрудных, околорудных и подрудных частях ореолов. Зональность ореолов обусловлена неравномерным, дифференцированным распределением или перераспределением в ореолах различных химических элементов при их миграции в процессе рудогенеза. Геохимическая зональность первичных ореолов особенно четко проявляется в изменении отношения содержания легкоподвижных и малоподвижных элементов-индикаторов оруденения друг к другу и к основному рудному компоненту в различных частях ореола. Рассматриваемая зональность позволяет отличать обнажающиеся на поверхности надрудные срезы месторождения от подрудных.

Геохимическая зональность первичных ореолов проиллюстрирована С.В. Григоряном на примере слепого полиметаллического месторождения Канимансур (рис. 2.5.1). Вертикальная геохимическая зональность выражается в отчетливом сдвиге по вертикали ореолов отдельных элементов друг относительно друга: ореолы Ва и As наиболее широки и контрастны в верхних частях разреза (надрудные ореолы). В противоположность этому ореолы Мо, Со, Си и Вi характерны только для нижних частей разреза (подрудные ореолы). Ореолы Pb и Zn наиболее интенсивны и широки на уровне рудных тел (околорудные ореолы).

На некоторых месторождениях первичные ореолы часто незначительны как по размерам, так и по интенсивности. Для выявления подобных ореолов достаточно эффективным является способ перемножения содержания элементов-индикаторов и выделения на этой основе так называемых мультипликативных ореолов, которые по

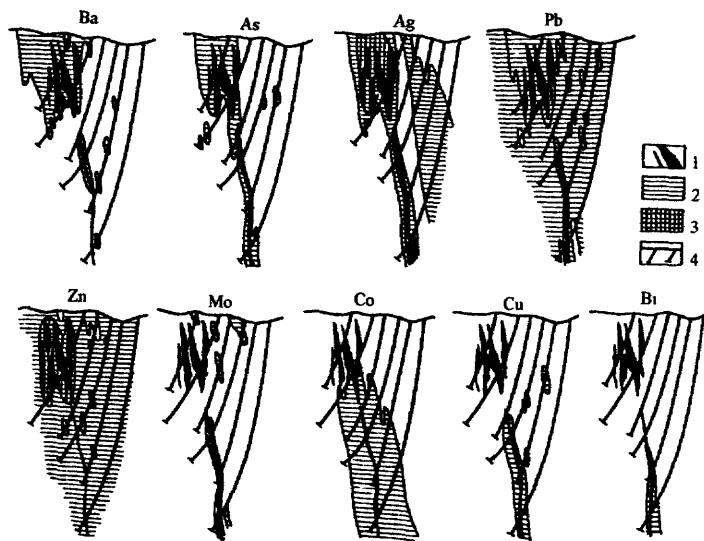


Рис. 2.5.1. Первичные геохимические ореолы месторождения Канимансур:

1 — рудные тела; 2 — первичные ореолы; 3 — поля повышенных концентраций; 4 — скважины

сравнению с моноэлементными более значительны по размерам и контрастности вследствие направленного усиления коррелирующихся полезных сигналов. Мультипликативные ореолы, как правило, обнаруживают более тесную связь с геолого-структурными особенностями месторождений полезных ископаемых, облегчая и повышая надежность интерпретаций аномалий.

Мультипликативные количественные показатели широко используются для расчетов коэффициентов зональности ореолов (отношение содержаний элементов-индикаторов в надрудных и подрудных частях ореолов, например, для золото-сульфидных месторождений — $Ag \times Pb \times Ba / Cu \times Ni \times Co$), позволяющих различать фронтальные, центральные и тыловые по отношению к рудным залежам зоны. Использование коэффициентов зональности позволяет определить положение прогнозируемых рудных зон относительно выявленного среза ореола (уровень эрозионного среза месторождения) и установить пространственное поло-

жение и элементы залегания рудных зон (положение внутренних зон, падение, склонение рудных зон и т. д.).

Поиски по вторичным ореолам. Как было отмечено выше, различают остаточные (или механические) ореолы, обязанные рассеянию в элювиальных продуктах выветривания коренной минерализации, и наложенные — солевые ореолы, образующиеся в дальнепривностных рыхлых отложениях (эоловых, мореноледниковых, аллювиальных и т. д.), перекрывающих выходы месторождений. Наиболее эффективны поиски месторождений по остаточным механическим ореолам в рыхлых отложениях, перекрывающих выходы месторождений.

Литохимические поиски по механическим ореолам используются в широком диапазоне ландшафтно-поисковых условий, как в аридных, так и в гумидных районах. Применение этого метода ограничивается главным образом отсутствием материала для отбора проб, в условиях развития каменных осыпей, болот, мерзлотных склонов с малой мощностью сезонного оттаивания, эоловых образований и др.

Поиски рудных полей и месторождений по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов и их спутников в продуктах выветривания, элювиально-делювиальных отложениях или почвах проводятся в масштабе 1:50 000 — 1:10 000. Металлометрическое опробование выполняется обычно по системе профилей, ориентированных вкострости простирания рудоносных структур. Рекомендуемые интервалы опробования приведены в табл. 2.5.3.

Таблица 2.5.3

Интервалы отбора геохимических проб при поисках по вторичным ореолам

Масштаб работ	Расстояние между профилями, м	Интервалы опробования в профилях, м
1:50 000	500	50
1:25 000	250	50-25
1:1000	100	25-20
1:5000	50	20-10
1:2000	25	10

Наложённые солевые ореолы рассеяния относятся к разряду слабых геохимических аномалий с максималь-

ными содержаниями рудных элементов, соизмеримых с колебаниями местного фона. Наиболее благоприятные условия для образования солевых наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях сульфидных месторождений (медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, медно-порфировых, золото-сульфидных и др.), имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие кларки концентраций химических элементов в рудах.

Обнаружение этих слабых ореолов производится с применением методик анализа и обработки геохимических данных, которые позволяют усиливать контрастность аномалий. Усиление слабых литохимических аномалий достигается: применением избирательного анализа измененных подвижных форм элементов из ореолообразующей среды; привлечением специальных методов опробования; математической обработкой поисковых данных, понижающих флуктуации геохимического поля; повышением прецизионности анализов проб.

К числу таких методов, позволяющих усиливать контрастность наложенных солевых аномалий, относится ионно-потенциметрический метод, основанный на измерении рН, Eh и определении концентрации ионов NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Cl^- , Br^- и некоторых других. Эти компоненты, обладающие высокой подвижностью в зоне гипергенеза, способны формировать аномалии над погребенными месторождениями при мощности перекрывающих рыхлых отложений в десятки метров (рис. 2.5.2). Изучение вторичных ореолов рассеяния ионов проводится по профилям вкрест простирания рудоносных структур из верхних почвенных горизонтов с глубиной 0,2 м.

Принципиальная возможность определения концентраций ионов при поисках рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния была доказана А.П. Солововым и Н.И. Сафроновым в 30-х годах прошлого столетия. Новые аналитические возможности исследования состава воднорастворимых соединений в почвенных пробах определили внедрение ионно-потенциметрического метода в практику поисковых работ. За последние десятилетия ионно-потенциметрические исследования были проведены в ЦНИГРИ при поисках месторождений на золоторудных полях Магадан-

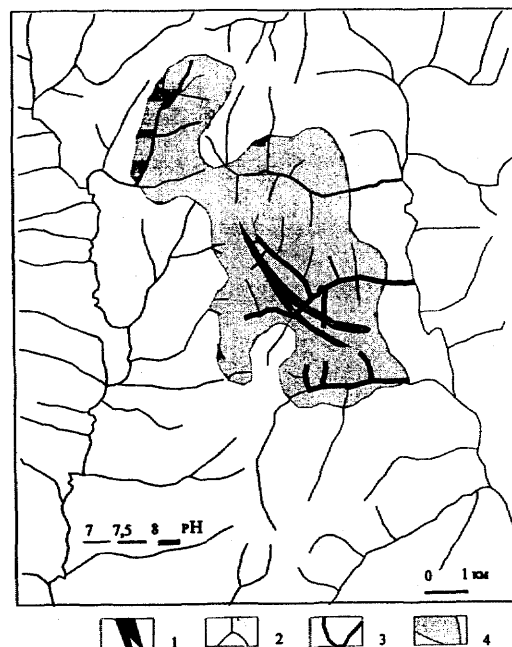


Рис. 2.5.2. Соотношение аномалий рН и золоторудных зон Наталкинского месторождения:

1 — рудные зоны месторождения; 2 — гидросеть; 3 — потоки рассеяния; 4 — площади развития аномалий рН

ской области, Чукотки, Закарпатья и других и показали высокую эффективность применения метода в сложных для поиска обстановках. Например, проведенные В.Б. Чеквадзе исследования на Береговском месторождении (Закарпатье), перекрытом рыхлыми отложениями мощностью от 1,5 до 30–50 м, показали, что известные рудные тела четко определяются аномалиями рН/Eh, K^+ , NH_4^+ , Cl^- (рис. 2.5.3). Ионно-потенциметрические ореолы в ряде районов Карелии фиксируют золотоносные зоны, перекрытые мощными мореноледниковыми отложениями.

Поиски по потокам рассеяния — один из основных геохимических методов поисков месторождений твердых полезных ископаемых в активно денудированных горно-складчатых районах. Поиски наиболее полно отвечают задаче ускоренного изучения обширных

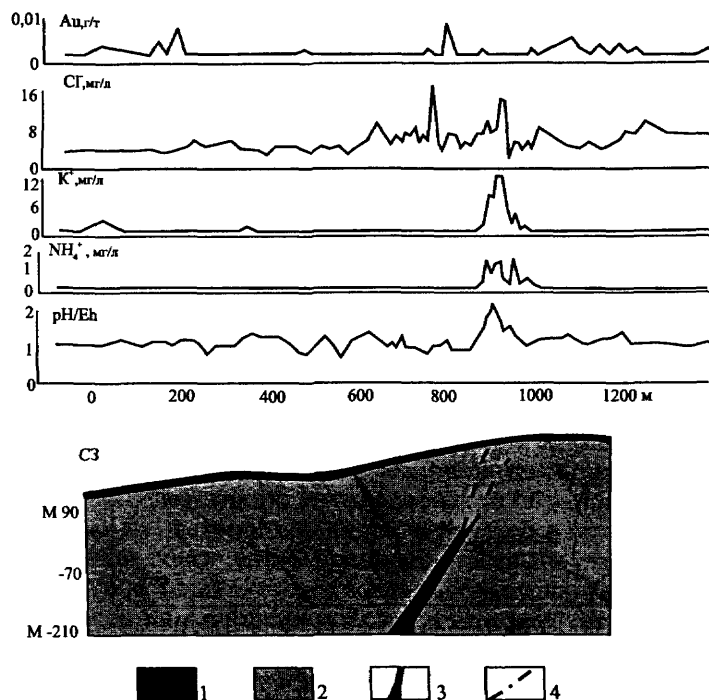


Рис. 2.5.3. Графики ионно-потенциметрических аномалий над слепым рудным телом Береговского месторождения: 1 — рыхлые отложения; 2 — моренные породы; 3 — рудное тело; 4 — тектонические нарушения

геологически слабо изученных рудных районов, т. к. позволяют в короткие сроки и с малыми затратами исследовать территории в десятки и сотни квадратных километров для постановки более детальных исследований. Они наиболее эффективны для элементов индикаторов и спутников рудной минерализации, которые обладают хорошей миграционной способностью в поверхностной водной среде, — золото, серебро, цинк, медь, свинец, молибден, уран, в меньшей степени — никель, мышьяк, сурьма и ртуть.

Литохимические съемки проводятся путем систематического отбора проб из аллювиальных отложений гидросети в пределах сухой пойменной части водотоков, реже — из-под воды. Плотность отбора зависит от

степени эрозионного расчленения местности, разветвленности гидросети и выбранного масштаба поисковых работ. Отбор проб начинается в 50–100 м выше устьев опробуемых водотоков старших порядков и заканчивается в устьях рек II–I порядка (рис. 2.5.4).

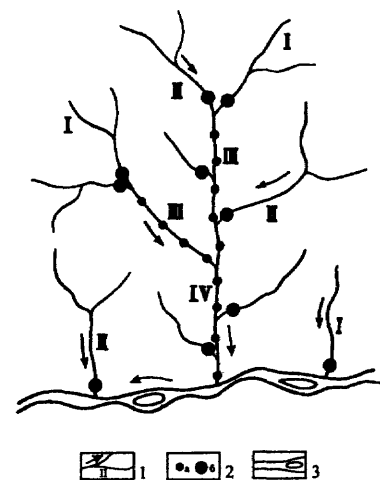


Рис. 2.5.4. Схема отбора проб при литохимических съемках по потокам рассеяния масштаба 1: 200 000 (по В.А. Бугрову): 1 — реки и их порядок; 2 — точки отбора проб (а — рядовых, б — двойных); 3 — магистральная река

Геологический осмотр потоков рассеяния начинается с осмотра русел с максимальным содержанием элементов, а затем распространяется на прилегающие склоны и водоразделы. Цель осмотра — обнаружение коренных выходов рудных тел или рудных свалов.

Гидрохимический метод поисков основан на выявлении в природных водах гидрохимических аномалий — участков распространения подземных или поверхностных вод, несущих повышенные концентрации элементов-индикаторов месторождений, хорошо мигрирующих в водной среде. К их числу относятся медь, свинец, цинк, никель, кобальт, молибден, мышьяк, йод, бром и ряд других элементов. Концентрации отдельных рудных компонентов в гидрохимических аномалиях по сравнению с фоновыми значениями в водах поверхностного и подземного стока могут возрастать

на несколько порядков. Аномальные содержания рудных элементов в поверхностных и подземных водах сохраняются на расстояниях до 1000 м (иногда несколько километров) от месторождения. Отбор гидрохимических проб осуществляется из рек, ручьев, колодцев, родников, горных выработок и скважин, вскрывающих водоносные горизонты с последующим анализом микроэлементного состава воды.

Наиболее благоприятными объектами для гидрохимического метода поисков являются месторождения природных солей, в частности поисковым признаком месторождений калийных солей служит повышенная величина в пробах отношения Br/Cl (более 15) и K/Br (более 10) при содержании хлора более 150 г/кг. Среди рудных месторождений — сульфидные месторождения, в первую очередь медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические и медно-никелевые. Вблизи сульфидных месторождений в водах резко возрастает содержание не только рудных элементов, но и сульфид-иона без существенных концентраций гидрокарбонатного иона и хлора.

Гидрохимический метод относится к числу глубинных методов поисков месторождений в коренных породах. Глубинность метода определяется врезом долины и составляет в среднем 200–500 м. Для восходящих напорных вод может достигать 1 км. Характеризуя возможности этого метода, необходимо отметить зависимость его результатов от различий в гидродинамическом режиме вод разных глубин, сезонных колебаний уровня грунтовых вод, выпадения атмосферных осадков, режима гидростока рек и других факторов, что существенно осложняет интерпретацию и оценку гидрохимических аномалий.

Биохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых основаны на способности организмов отражать в химическом составе, видовых ассоциациях и морфологии организмов особенности среды обитания.

Данные методы разделяются на собственно биогеохимические, основанные на анализе химического состава организмов и продуктов их жизнедеятельности (растений, торфа, растительного опада и т. д.), и биологи-

ческие, использующие приуроченность специфических организмов и их сообществ к участкам среды с определенными особенностями химического состава. В настоящее время практическое значение имеет только геоботанический метод, использующий в качестве объектов опробования наземные растения и их остатки (торф, лесную подстилку и гумусовый горизонт почв).

Резко проявленные изменения химического состава почв и почвообразующих пород (в частности, появление высоких концентраций рудных элементов) могут вызвать местные изменения биологических особенностей растений, выражающиеся в смене видового состава растительных ассоциаций и появлении специфических растений, являющихся индикаторами на определенные химические элементы; в появлении необычных форм растений, изменении темпов их развития, угнетении растений или, наоборот, их повышенном росте и т. д.

Сущность метода состоит в выявлении вторичных ореолов рассеяния путем анализа особенностей распределения химических элементов — индикаторов оруденения в растениях и их остатках. Над всеми типами месторождений в различных ландшафтно-геохимических условиях наблюдается накопление рудных элементов в растениях. При высоких концентрациях химических элементов в питающей среде большинство (95 %) видов и частей растений, а также их остатков (биообъектов) накапливают элементы.

В поисковых целях используется небольшое число видов растений и их частей, которые накапливают рудные элементы линейно-пропорционально содержанию их в питающей среде. Определяется содержание рудных элементов в пробах растительности после их озоления. В одну пробу отбирается масса растений с площади в несколько квадратных метров. У древесных растений (сосны, лиственницы, осины и др.) опробуется верхний пробковый слой коры, в котором накапливается уран, свинец, цинк, бериллий, фтор, литий, цирконий и ряд других элементов. Биогеохимические поиски золоторудных месторождений эффективны при использовании для опробования коры и листьев березы, хвои и сухих ветвей лиственницы, сосны, а также

попынь, саксаул, верблюжья колючка и живой мохолишайниковый покров (биогеохимический метод поисков) (рис. 2.5.5).

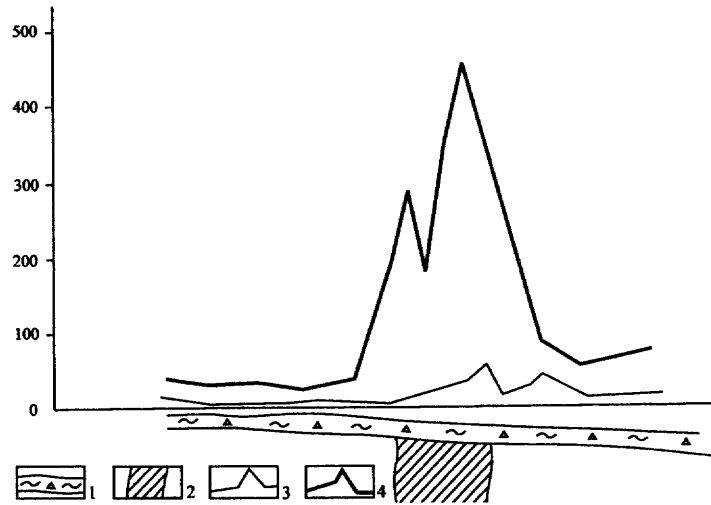


Рис. 2.5.5. Распределение золота в пробах мха и почв на Олимпиадинском месторождении (по В.А. Загоскину):
1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — рудное тело;
3 — распределение золота в пробах почв; 4 — распределение золота в пробах мха

При поисках серебряных месторождений целесообразно опробовать ядровую древесину деревьев, а при поисках медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений необходимо учитывать, что наиболее контрастные биогеохимические аномалии образует свинец в коре, хвое лиственниц, листьях березы, брусники. Другие элементы (Zn, Co, Ag, As, и Cu) дают аномалии меньшей контрастности. Для опробования на радиус пригодны любые растения. В целом при выборе видов растений с возможными относительно высокими концентрациями элементов-индикаторов рудных тел месторождений они должны быть предварительно сгруппированы по относительному содержанию элементов в различных видах. Предпочтительнее опробовать не живые (зеленые) части многолетних травянистых растений, а их сухие прошлогодние ос-

татки и при этом — нижние части стеблей, а не всю наземную биомассу. Наиболее благоприятным временем отбора надземных частей травянистых растений является осенний и осенне-зимний период после окончания вегетации и созревания семян.

Глубинность биогеохимического метода поисков выше, чем глубинность других поверхностных геохимических методов. Максимальная мощность рыхлых отложений, ограничивающая возможность метода в степных и пустынных районах, составляет 20–50 м, в лесных районах гумидной зоны — 10–20 м, в районах с многолетней мерзлотой не превышает 3–10 м. Его применение оправдано лишь в тех геологических и ландшафтных условиях, когда выявление вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния затруднено. Необходимо также отметить, что сложность интерпретации биогеохимических аномалий, связанная с необходимостью учета биологических, техногенных и антропогенных (выбросы и отходы горных и промышленных предприятий, загрязнение растений при перевозке руд, внесение в почву различных микроэлементных удобрений и др.) факторов на концентрацию металлов в золе растений, заметно снижает достоверность результатов биогеохимических методов поисков.

Атмохимические (газовые) методы поисков месторождений основаны на исследовании подземной атмосферы и ее приземного слоя — химического состава газов, насыщающих горные породы — углекислого газа, метана, сероводорода, сернистого газа, паров ртути и некоторых других газов. Важное практическое значение при поисках погребенных месторождений имеет большая проникающая способность газовых компонентов, мигрирующих на значительные расстояния от рудных тел через перекрывающие толщи рыхлых отложений. Атмохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления связи с месторождениями.

Рудные месторождения при атмохимических съемках по свободным подпочвенным газам могут фикси-

роваться максимальными содержаниями CO_2 , достигающими 3,0 % (при фоне 0,3 %), CH_4 — 0,01 % (фон — 0,0001 %), H_2 — 0,01 % (фон — 0,0002 %) и минимумом O_2 — 15 % при фоне 20,6 %. Размеры линейных атмосферических аномалий, как правило, превышают размеры месторождений в 3 — 10 раз и могут достигать размера 5 — 15 км × 0,2 — 0,8 км.

При сглаженном рельефе и отсутствии древесной растительности весь комплекс атмосферических исследований проводится на автомобиле. В зависимости от способов проведения атмосферических съемок пробоотбор и анализ газовых компонентов может осуществляться из приземной атмосферы (свободные газы), из верхнего горизонта рыхлых отложений (сорбированные газы), из водных источников (водно-растворимые газы) и из неглубоких скважин (свободные почвенные газы).

Метод может быть применен в различных ландшафтных обстановках при поисках рудных месторождений, выведенных на древнюю денудационную поверхность и перекрытых рыхлыми палеоген-четвертичными отложениями мощностью от 20 — 100 до 500 м.

Атмосферические поиски рудных месторождений не проводятся в условиях выхода рудоносного субстрата на современную дневную поверхность, т. к. в этом случае рационально применяются прямые литохимические поиски по вторичным остаточным ореолам рассеяния.

Широкое распространение при поисках получили газортутные съемки. Геохимическое сродство ртути с серой определяет ее принадлежность к числу халькофильных элементов и повышенные содержания в сульфидных минералах. Замечательное свойство ртути — высокая летучесть и способность восстанавливаться в гипергенных условиях до самородного состояния.

Газортутные ореолы установлены на многих рудных месторождениях в различных регионах (рис. 2.5.6). Подавляющее большинство нертутных сульфидсодержащих месторождений несут повышенные концентрации ртути, увеличивающие содержание ртути во вмещающих породах в 5 — 1000 раз, что является достаточным для формирования значимых газортутных ореолов. Содержание ртути в ореолах колеблется от $n \times 10^{-6}$ %

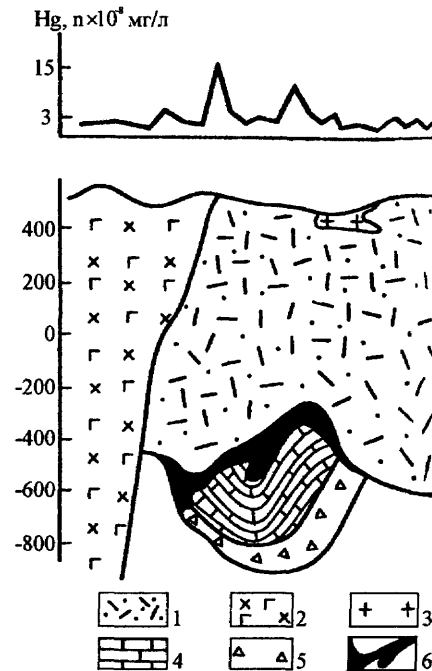


Рис. 2.5.6. Содержание паров ртути в почвенном воздухе над месторождением Николаевское (по С.А. Воробьеву):
1 — риолитовые туфы; 2 — габбро-диориты; 3 — гранит-порфиры; 4 — известняки; 5 — песчаники, алевролиты; 6 — руды

до $n \times 10^{-4}$ % в зависимости от минерального типа руд и количества ртути, находящегося в качестве примеси в минералах руд. Параметры ореолов также варьируют для разных типов руд. По мощности и протяженности ореолы ртути соответствуют размерам рудных зон, иногда в 1,5 — 2 раза превышая их. Глубинность газортутного метода при поисках медных и свинцово-цинковых месторождений достигает 350 м, ртутных и сурьмяных — 400 м. Для накопления и сохранения аномальных паров ртути необходимо наличие рыхлых перекрывающих отложений. На развитие газовых ореолов в почвенном воздухе влияет характер рыхлых отложений. Наименее благоприятны щебенистые и торфянистые отложения, которые из-за сильной аэрации плохо хранят и накапливают пары ртути.

Геофизические методы

Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых основаны на изучении естественных или искусственно создаваемых физических полей, в которых отражаются различия горных пород и руд по физическим свойствам.

По видам изучаемых полей геофизические методы подразделяются на магнитометрические, гравиметрические, электроразведочные, сейсморазведочные и ядерно-физические. По месту проведения измерений выделяются воздушные, морские (в том числе подводные), наземные, подземные съемки, скважинные исследования и лабораторные определения.

Магнитометрические методы (магниторазведка) объединяют геофизические методы, которые в целях решения тех или иных геологоразведочных задач прибегают к изучению магнитного поля Земли. Характер последнего зависит от состава и строения геологических образований, слагающих тот или иной участок земной коры.

В качестве прямого поискового метода магнитометрическая съемка используется для выявления и оценки магнетитовых и титаномагнетитовых месторождений, руды которых обладают высокой магнитной восприимчивостью. На основе этих съемок выявляются и оконтуриваются аномальные магнитные поля, соответствующие рудным залежам, детализируются и оцениваются их аномальные участки, зоны и локальные аномалии.

При поисках других полезных ископаемых магниторазведка позволяет выявлять те или иные факторы, контролирующие оруденение, либо обнаруживать рудные тела по наличию в них сопутствующих ферромагнитных минералов на некоторых медно-никелевых, хромитовых и слабомагнитных железорудных месторождениях. При этом применение магнитных съемок эффективно, если объекты поисков расположены в разрезах слабомагнитных пород. При поисках полиметаллических месторождений, месторождений бокситов, россыпных месторождений и ряда других полезных ископаемых магниторазведка поставляет косвенные данные.

При решении разнообразных поисково-картировочных задач в зависимости от геологического строения изучаемой площади широко применяются аэромагнитные съемки. Аэромагнитные съемки являются основным геофизическим методом поисков кимберлитовых трубок в России и за рубежом. В частности, с их помощью выявлены практически все известные на сегодняшний день объекты в Архангельской области. Средневысокомагнитные кимберлитовые трубки в магнитном поле выделяются положительными локальными аномалиями, имеющими в плане преимущественно изометричную или овальную форму. Вместе с тем при использовании этого поискового метода будут пропущены слабомагнитные кимберлитовые тела.

Для месторождений, связанных с малыми магнетитсодержащими интрузиями, актуальны задачи их выявления и оконтуривания. Поисковый интерес представляют зоны экзо- и эндоконтактов интрузивов. В вулканогенных областях в магнитном поле картируются кольцевые структуры и линейные тектонические нарушения, имеющие рудоконтролирующее значение, а также вулканические сооружения. Пониженными магнитными полями выделяются участки, подвергшиеся гидротермальной проработке. Некоторые типы колчеданно-полиметаллических и золоторудных месторождений пространственно совпадают с зонами пирротиновой минерализации и отличаются повышенными значениями магнитного поля. Дайки основных пород создают узкие линейные аномалии магнитного поля значительной интенсивности. При детальном поиске магниторазведка позволяет выделять и проследить рудоконтролирующие зоны и кварцевые жилы, обогащенные магнетитом и пирротинном.

Гравиметрические методы (гравиразведка) основаны на изучении гравитационного поля изучаемой территории и являются неотъемлемой частью геофизического комплекса на разных стадиях геологоразведочных работ. Диапазон ее применения — от задач изучения глубинного строения земной коры, отдельных рудоконтролирующих структур и выявления рудоконтролирующих факторов до поисково-оценочных и разведочных задач. Объектами поисков являются залежи

железных, хромитовых, медно-никелевых и других руд, значительно отличающихся по плотности от вмещающих пород. В гравитационном поле баритоносные горизонты, баритовые, барит-свинцово-цинковые тела также фиксируются положительными аномалиями силы тяжести.

Редкометалльные, медно-порфиновые, золото-кварцевые рудные районы фиксируются минимумами гравитационного поля сложных очертаний, а размещение крупных объектов в рудных районах контролируется блоками пород повышенной плотности, искажающими эти минимумы.

Измерения гравитационного поля выполняются на поверхности суши, на море, в скважинах и подземных горных выработках. В значительных объемах проводятся аэрогравиметрические работы.

Электроразведочные методы (электроразведка) объединяют многочисленные геофизические методы, основанные на изучении постоянных и переменных электромагнитных полей естественных и искусственно создаваемых источников. Выделяются следующие группы методов.

- *1. Методы сопротивлений, основанные на изучении искусственно созданного поля постоянного тока (различные виды электропрофилеирования, электророзондирования и метод заряда).
2. Методы изучения полей физико-химического происхождения (естественного поля, вызванной поляризации, частичного извлечения металлов и контактный способ поляризационных кривых).
3. Методы низкочастотного электромагнитного поля (индуктивные методы дипольного индуктивного профилирования, длинного кабеля, переходных процессов; электромагнитные зондирования — частотные, становления поля; магнитотеллурические методы зондирования, профилирования и теллурических токов).
4. Радиоволновые методы (радиокомпарации и пеленгации, радиоволновое просвечивание).

Большинство перечисленных методов используется при наземных электроразведочных исследованиях, а также в скважинах и подземных горных выработках

большого сечения, но некоторые низкочастотные и радиоволновые методы применяются и в аэроварианте.

Электропрофилеирование. Сущность метода состоит в измерении кажущегося сопротивления установкой при ее перемещении вдоль заданных направлений (профилей). В практике работ наиболее широко применяются установки: четырехэлектродные симметричные (симметричное профилирование), срединных градиентов, совокупности двух-трехэлектродных установок (комбинированное профилирование) и дипольные (дипольное профилирование).

Электророзондирование. Метод применяют для установления глубины залегания горизонтальных или пологопадающих границ раздела пород с разными электрическими сопротивлениями. Основные геологические задачи: расчленение разреза осадочных толщ, картирование по латерали на глубину тектонических нарушений, зон трещиноватости, интрузивных образований, изучение поведения кровли фундамента, прослеживание зон рудной минерализации и оценка мощностей рыхлых отложений, перекрывающих коренные породы.

Метод заряженного тела, называемый также методом заряда, используют в различных модификациях: заряженного тела, метод заряда с измерением магнитного поля, электрической корреляции, погруженного электрода. Метод основан на изучении характеристик электрического или магнитного тока, создаваемого разрядом, помещенным в горные породы. Метод применяется на стадиях поисковых, поисково-оценочных и разведочных работ с целью обнаружения, прослеживания и определения элементов залегания и размеров преимущественно сульфидных рудных тел, главным образом на медно-колчеданных, колчеданно-полиметаллических, медно-никелевых и сульфидных золоторудных месторождениях. Реализуется при наличии на объекте исследований достаточного объема буровых работ, что ограничивает его широкое применение. Другие ограничения метода: развитие на объекте вкрапленной минерализации, высокая электропроводность перекрывающих объект пород.

Метод естественного электрического поля основан на изучении естественных электрических полей,

обусловленных различными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Естественные поля имеют разную природу и связаны с разными геологическими объектами. Метод позволяет картировать разломы, зоны минерализации, сульфидизации, графитизации; проводить поиски сульфидных руд, магнетита, графита, антрацита, кимберлитовых трубок; картировать поверхности коренных пород под наносами повышенной электропроводности. Основные преимущества методов — высокая глубинность (до 1 км) и мобильность.

Метод вызванной поляризации основан на использовании электрохимических явлений, происходящих на границе обладающих ионной проводимостью пород или электронных проводников (руд) с окружающей их жидкостью — электролитом, под действием пропускаемого в земле электрического тока. Метод вызванной поляризации эффективно используется для поисков вкрапленного сульфидного оруденения.

При проведении поисковых работ методом вызванной поляризации сочетание измерений на земной поверхности и в скважинах позволяет получить представление о пространственной структуре поля вызванной поляризации, уточнить положение руд в разрезе. С этой целью используют установки погруженного электрода и вертикального градиента, что существенно увеличивает разрешающую способность метода. Для установления возможной связи между рудными пересечениями соседних скважин применяются установки электрической корреляции.

Дипольное индуктивное профилирование применяется для поисков руд с высокой электропроводностью и основано на изучении вихревых токов, искусственно наведенных в электропроводящих объектах, находящихся в окрестностях исследования. Характерной особенностью метода является его высокая разрешающая способность при разделении объектов по электропроводности.

Метод переходных процессов применяется для поисков месторождений сульфидных руд, имеющих очень высокую электропроводность. Метод обладает меньшей, чем другие методы электроразведки, чув-

ствительностью к изменениям рельефа местности и мощности рыхлых отложений и обеспечивает большую, чем другие индуктивные методы, глубинность исследования.

Радиоволновые методы электроразведки основаны на изучении электромагнитных полей высокой частоты, создаваемых специальными портативными передатчиками либо вещательными радиостанциями. Основными из них являются: а) метод радиокомпарации и пеленгации («радиокип»), который базируется на изучении полей дальних длинноволновых и сверхдлинноволновых радиостанций, уверенный прием волн которых наблюдается на расстояниях соответственно 1000 и 12 000 км; б) метод радиоволнового просвечивания, основанный на изучении изменений электромагнитного поля, вызванных различной способностью поглощения электромагнитной энергии горными породами и рудами.

Метод «радиокип» применяется для геокартирования и поисковых работ масштаба 1:50 000 — 1:25 000 в районах с малой (первые метры) мощностью поверхностных отложений при выявлении прямых поисков хорошо проводящих медноколчеданных и медно-никелевых руд на малых глубинах, а также косвенных поисков медно-порфириновых, золоторудных в терригенных толщах, золото-серебряных в вулканических поясах месторождений.

Радиоволновое просвечивание применяется при поисках и разведке сульфидных, золото-сульфидных, золото-серебряных, олово- и вольфрамо-полиметаллических рудных тел, железорудных месторождений, кимберлитовых трубок, пьезокварцевых полостей, угольных пластов в межскважинном, околосокважинном, межскважинном пространствах.

Геоэлектрохимические методы основаны на реализации электронных преобразований в форме электрохимических реакций электрического поля, вызванных либо искусственным электрическим возбуждением, либо вещественными изменениями, происходящими в естественных геологических процессах.

Наиболее широко распространен геоэлектрохимический метод, основанный на частичном (избиратель-

ном) извлечении металлов (ЧИМ), сущность которого состоит в электрохимическом растворении рудных элементов при пропускании постоянного электрического тока между заземлениями, перемещении растворенных веществ в поле электрического тока, накопления их в элементоприемниках и регистрации накопленных компонентов химическими или другими методами анализа. Метод частичного извлечения металлов предназначен для выявления и прослеживания глубокозалегающих месторождений меди, свинца, цинка, никеля, олова, молибдена и других элементов, в том числе и на закрытых территориях под покровом рыхлых отложений мощностью до 200 м, а также для разбраковки геофизических аномалий и выделения рудных интервалов при коротаже скважин (рис. 2.5.7).

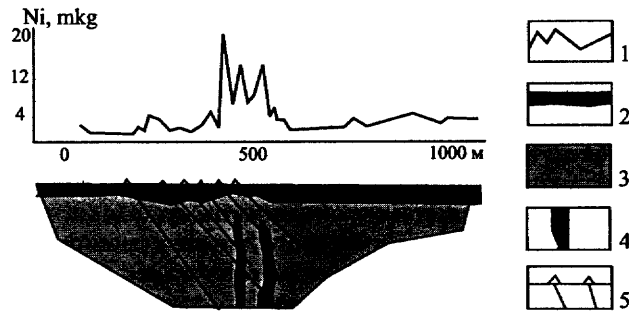


Рис. 2.5.7. Результаты наблюдений методами ЧИМ на медно-никелевом месторождении:
1 — график ЧИМ; 2 — моренные отложения; 3 — коренные породы; 4 — рудные тела; 5 — буровые скважины

Сейсморазведка основана на изучении распространения в земной коре упругих волн, возбуждаемых искусственным путем — взрывом, ударом или вибрацией. Сейсмические исследования, проводимые при поисках месторождений, называют рудной сейсморазведкой. Ее задачей является изучение как геологического строения района, так и отдельных структур, с которыми могут быть связаны рудные месторождения, прослеживание зон разрывных нарушений, контактов (в том числе на глубину), определение рельефа коренных пород.

Сейсморазведка успешно применяется при крупномасштабных картировочных и поисковых работах для локализации в разрезе геологических неоднородностей (рудных тел, кимберлитовых трубок, зон трещиноватости и других), расчленения разрезов при поисках глубокозалегающих месторождений полиметаллов, никеля, железа, апатитов, серы и других полезных ископаемых.

Ядерно-геофизическая разведка включает в себя группу методов, основанных на изучении естественной и искусственной радиоактивности.

Среди методов, использующих естественную радиоактивность, основное значение имеют радиометрические методы поисков месторождений радиоактивных руд, фосфоритовых, танталовых, ниобиевых, редкоземельных и других месторождений, руды которых содержат примеси радиоактивных металлов, а также для установления закономерностей распределения радиоактивных элементов — урана, тория и калия в составе площадных метасоматитов, сопровождающих некоторые типы месторождений благородных и других металлов.

Методы, основанные на изучении искусственной радиоактивности, используются для поисков месторождений тяжелых металлов — свинца, цинка, молибдена, ртути, сурьмы и др. Однако основная область применения ядерно-геофизических методов с использованием искусственных источников излучения — определение вещественного состава и физических свойств пород и руд в условиях естественного залегания. Существенное место ядерно-геофизические методы занимают в комплексе скважинных исследований.

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются неотъемлемой частью геологоразведочного процесса и при работах на рудное и нерудное сырье позволяют решать следующие поисковые и оценочные задачи: литологическое расчленение разреза; выделение рудных интервалов, их глубины и мощности; определение элементного состава руд; поиски и прослеживание магнитных руд и зон в околоскважинном пространстве; изучение физико-механических свойств руд и пород. Для этого используются различные модификации электрических, электромагнитных и магнитных методов, ядерно-геофизические методы, акустический каротаж.

Горно-буровые методы

Горно-буровые методы заключаются в использовании поискового бурения и поисковых горных выработок. Они служат единственным способом заверки данных, полученных другими поисковыми методами. С их помощью создаются искусственные обнажения (пересечения) горных пород и рудных тел. Характерной особенностью горно-буровых работ на поисковой стадии являются значительные расстояния между выработками и небольшая глубина пересечений (за исключением специальных единичных поисковых глубоких скважин). При поисках месторождений используются в основном поверхностные горные выработки: копуши и расчистки на склонах, врезы, канавы, единичные траншеи по простиранию выявленных рудных тел, единичные шурфы. В исключительных случаях (главным образом в условиях альпинотипного горного рельефа) проходят поисковые штольни, из которых бурят подземные скважины (рис. 2.5.8). Строго лимитированного расстояния между горными выработками не устанавливается.

Протяженные и мощные зоны прожилково-вкрапленной рудной минерализации и штокверки вскрываются канавами на полную мощность (ширину) с расстоянием 100 – 200 м между пересечениями. Маломощные рудные тела и жилы прослеживаются с помощью траншей и короткометражных канав, расположенных через 50 – 100 м. При значительной мощности рыхлых отложений проходятся единичные шурфы с рассечками глубиной до 15 – 20 м. Выходы зон минерализации, кварцевых жил, гидротермально-метасоматических и других образований на склонах вскрываются расчистками. Делювиальные склоновые образования опробуются системой копушей глубиной до 0,5 м.

Вскрытие выявленных поверхностными выработками продуктивных структур и горизонтов производится единичными скважинами или единичными профилями скважин по две-три выработки в профиле до глубины 150 – 200 м. Для повышения достоверности и информативности бурения используются методы геофизических исследований в скважинах, рациональный

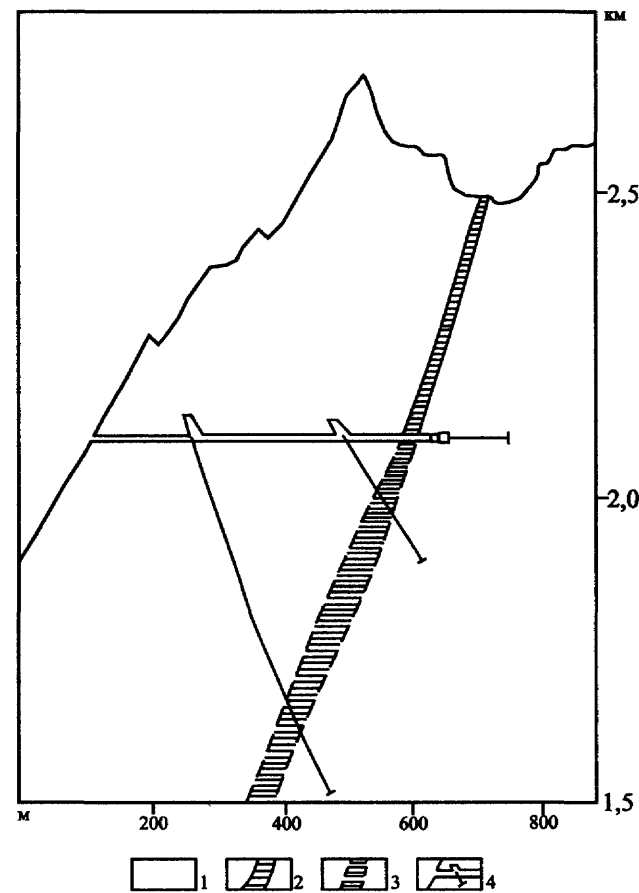


Рис. 2.5.8. Поиски горными выработками и скважинами подземного бурения:

- 1 — коренные породы; 2 — рудная зона, выявленная; 3 — рудная зона, прогнозируемая по геолого-геофизическим данным;
- 4 — поисковые выработки: а — штольня, б — подземная скважина

комплекс которых определяется исходя из геолого-геофизических условий производства поисковых работ.

В целом сеть наземных (канавы, траншеи, отдельные шурфы и др.) выработок в совокупности с единичными скважинами колонкового бурения должна обеспечить оценку прогнозных ресурсов категории P_2 и P_1 .

2.6. Комплексование методов. Прогнозно-поисковые комплексы

Каждый объект поисков (месторождение) обладает комплексом признаков, для обнаружения которых применяется широкий спектр геологических, геолого-минералогических, геохимических методов и их различных модификаций в сочетаниях, обеспечивающих надежное установление как признаков объектов, так и самих объектов. Комплексное использование нескольких различных методов поисковых работ позволяет получить максимальный объем информации для наиболее полного решения поисковой задачи при минимальных затратах средств и времени (Крейтер, 1969; Красников, 1965; Каждан, 1985 и др.). При этом исключаются лишние методы, не дающие дополнительной информации.

Выбор методов, включаемых в рациональный набор, зависит от их характера и степени проявленности тех признаков, которые должны быть выявлены. А это в первую очередь определяется геолого-промышленным типом месторождения, являющегося объектом поисков, поскольку каждый геолого-промышленный тип характеризуется определенными особенностями, которые могут служить поисковыми признаками.

Как показывает практика поисковых работ, наиболее употребляемыми и универсальными методами, включаемыми в рациональный комплекс, являются геологические и геохимические. Эти методы в определенных условиях эрозийного вскрытия и обнаженности изучаемых площадей могут применяться при поисках любых месторождений. Область применения шлиховых методов ограничена теми типами месторождений, в состав руд которых входят тяжелые и химически устойчивые минералы. Геофизические методы отличаются узкой направленностью на определенные типы месторождений, в частности магнитные съемки являются ведущими при поисках магнитных железных руд, электроразведка широко применяется при поисках сульфидных месторождений меди, свинца и цинка, радиометрические методы — при поисках месторождений урана, тория и редких земель. К числу ос-

новных методов при поисках алмазных месторождений кимберлитового типа относятся гравиметрические и магнитометрические съемки. В остальных случаях геофизические методы являются вспомогательными и широко используются в комбинации с другими поисковыми методами.

Содержание рационального комплекса поисковых методов определяется целями, задачами и масштабами геологоразведочных работ на данной стадии поискового процесса. Для каждой стадии характерен свой комплекс методов и видов работ, направленных на решение задач этой стадии.

Задачей поисковых работ ранних стадий является установление комплекса поисковых критериев и признаков с целью обнаружения перспективных участков. Основу комплекса составляет геологическое картирование, обеспечивающее создание геологической основы качественной интерпретации результатов геофизических и геохимических методов поисков, также включаемых в рациональный комплекс на ранних стадиях поисков. Важное значение имеют дистанционные аэрокосмические методы, позволяющие установить простирание пород, тектонические нарушения, системы трещин, дайки изверженных пород, контуры измененных пород, в благоприятных случаях рудные тела и т. д. Из числа геолого-минералогических методов преобладают валунно-обломочные и шлиховые, а из геохимических — литохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния в донных осадках.

Конечной целью поисково-оценочных работ является обнаружение промышленных месторождений и рудных тел. Применяемый комплекс методов существенно усложняется. Его основу составляют геологические и геолого-минералогические методы, включающие специализированные геолого-структурные, литолого-фациальные съемки, минералого-петрографические и петрохимические методы с применением поверхностных (иногда и подземных) горных выработок, картировочных, поисковых и поисково-оценочных скважин колонкового бурения. Используется также широкий арсенал детальных геофизических методов, в том числе и методов скважинной геофизики. На этой ста-

дии геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния уступают свое место литохимическим методам по первичным геохимическим ореолам, включая геохимическое опробование керн буровых скважин.

На разрешающие возможности поисковых методов и состав их рационального комплекса существенное влияние оказывают обстановки ведения работ в районе поисков. Реальные условия поисков месторождений зависят от мощности перекрывающих отложений, расчлененности рельефа и степени эрозионного среза залежей полезных ископаемых. Перечисленные факторы определяют характер и степень проявленности и достоверности поисковых признаков различных частей рудных систем — надрудных, фланговых, внутренних (рудовмещающих) и подрудных. Различия в условиях нахождения рудоносных систем влияют на выбор методики работ по обнаружению рудных тел, в частности на расположение скважин, их глубину, а также на набор применяемых геофизических методов, на последовательность, масштабы и объемы геологических, геохимических, горно-буровых, скважинных геофизических и иных видов поисковых и оценочных работ.

В закрытых районах с региональным развитием рыхлых или слоистых перекрывающих отложений выходы рудовмещающих пород и структур, а также признаки полезных ископаемых практически отсутствуют, в связи с чем поиски в этих условиях возможны лишь на основе глубинного геологического картирования с помощью картировочного и поискового бурения в комплексе с глубинными структурно-геофизическими исследованиями и скважинными модификациями поисковых методов. На эффективность поисковых методов в значительной степени влияют особенности состава и строения перекрывающих отложений. Например, сложные ситуации при поисках месторождений алмазов возникают в Якутии на площадях преимущественного развития в разной степени намагниченных трапповых образований, в том числе и непосредственно залегающих на кимберлитах. В этих случаях эффективность магнитных геофизических методов поисков коренных месторождений алмазов резко снижается, что требует внесения

существенных корректив в применяемый комплекс поисковых методов.

Таким образом, выбор рационального комплекса поисковых методов с целью оптимизации проведения поисковых работ — весьма сложная задача, решение которой зависит от целей работ на каждой стадии геологоразведочного процесса, комплекса признаков объекта, подлежащих выявлению, и конкретных природных условий поисков и обстановок нахождения объектов. При этом рациональный комплекс поисковых работ должен обеспечивать получение максимальной информации для выявления и оценки объектов.

Эффективное решение поисковых задач обеспечивается созданием и использованием в практике прогнозно-поисковых (геологоразведочных) комплексов, представляющих собой технологические схемы реализации геологоразведочного процесса, позволяющие выбирать наиболее рациональные варианты проведения работ с учетом обстановок нахождения объектов поисков и уровня геологической и поисковой изученности рудоносных площадей (Кривцов, 1989 и др.).

Прогнозно-поисковые комплексы учитывают принятую стадийность геологоразведочного процесса, основанную на принципе соответствия между стадиями работ и их целями, поисковыми объектами разного ранга. Для каждой из стадий геологоразведочного процесса формируются и используются оптимальные комплексы методов, необходимых и достаточных для опознания объекта поисков, поэтому каждой стадии отвечают однотипные по составу блоки прогнозно-поисковых комплексов, а всему процессу — сумма подобных блоков, сопряженных по последовательности выполнения. Каждый блок комплекса представляет систему взаимосвязанных элементов «методы — признаки — объекты», которые должны надежно обеспечивать достижение целей геологоразведочных работ различной детальности. При формировании блоков решаются следующие задачи: создание прогнозно-геологической модели объекта с набором соответствующих признаков — характеристик модели; разделение признаков на необходимые и дополнительные; оценка опо-

знаваемости объекта прогноза и поисков отдельными признаками и их сочетаниями; оценка выявляемости признаков объекта различными методами (сочетаниями методов), применяемыми в регионе или известными в геологоразведочной практике, с учетом их разрешающих возможностей. В итоге реализации комплекса на каждой стадии геологоразведочного процесса могут быть получены положительные, отрицательные или неопределенные результаты, в зависимости от которых принимается решение. Соответственно о проведении работ последующей стадии, их прекращении или возврате к предшествующей стадии (рис. 2.6.1).

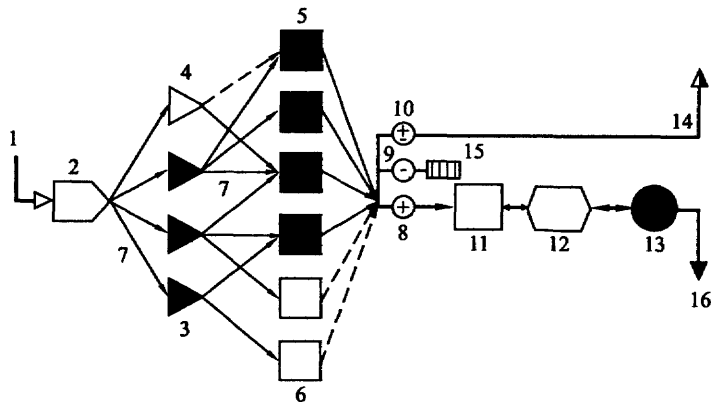


Рис. 2.6.1. Блок-схема стадии прогнозно-поискового комплекса (по А.И. Кривцову):

- 1 — переход от предшествующей стадии; 2 — стадия работ;
- 3–4 — методы работ: 3 — обязательные, 4 — дублирующие либо избыточные; 5–6 — признаки объектов: 5 — необходимые, 6 — дополнительные; 7 — связи, методы-признаки и признаки-объекты (основные и второстепенные); 8–10 — результаты работ: 8 — положительные, 9 — отрицательные, 10 — неопределенные; 11–13 — объекты прогноза и поисков: 11 — геологические, 12 — металлогенические, 13 — ресурсы и запасы; 14 — возврат к предшествующей стадии; 15 — прекращение работ; 16 — переход к последующей стадии

Подобная схема построения прогнозно-поисковых комплексов отражает не только стадийность проведения работ, но и последовательную локализацию поисковых объектов с повышением детальности. Полнота

реализации схемы определяется уровнем изученности той или иной территории. В каждом конкретном случае работы должны начинаться с того отрезка геологоразведочного процесса, началу которого отвечает выявление объекта поисков предшествующей стадии. Таким образом, каждой стадии геологоразведочных работ соответствуют однотипные по структуре (но не по содержанию) блоки, а всему процессу — сумма сопряженных блоков прогнозно-поискового комплекса.

Основой прогнозно-поискового комплекса является прогнозно-поисковая модель месторождения искомого геолого-промышленного типа. Доступность элементов модели для обнаружения и применения того или иного варианта комплекса определяются условиями ведения поисков. При оценке опознаваемости объектов необходимо учитывать, что ряд признаков обладает высокой информативностью не в любых обстановках, а лишь в наиболее благоприятных. Объекты могут быть опознаны одним, несколькими или комплексом признаков. Для уверенного выявления объекта при поисках иногда бывает недостаточно установленных признаков. В этом случае проводится доработка геологической модели объекта. Оптимизация в звене «признаки — объекты» в конечном итоге обеспечивает выбор комплекса характеристик, необходимого для уверенного выявления объекта при поисках.

Оценка степени выявляемости поисковых признаков теми или иными методами имеет своей целью разделить методы на обязательные, дублирующие и избыточные с исключением из комплекса двух последних категорий. Оптимизация в звене «методы — признаки» обеспечивает формирование арсенала методов, необходимых для решения задач прогнозно-поискового комплекса соответствующей стадии с наименьшими затратами. Такая оптимизация в звеньях «признаки — объекты» и «методы — признаки», проведенная в каждом блоке комплекса, позволяет создать полные (основные) варианты комплексов для месторождений ведущих геолого-промышленных типов твердых полезных ископаемых. Вместе с тем различная степень благоприятности геологоразведочных обстановок для выполнения работ по поискам, а также высокая эффек-

тивность отдельных методов в некоторых условиях определяют возможность получения сокращенных вариантов реализации комплексов. Эти варианты применимы в тех случаях, когда методы, поставленные на ранних стадиях, могут обеспечить решение задач последующих стадий, даже далеко отстоящих. Кроме того, сокращенные варианты возможны в таких ситуациях, когда на изучаемой площади те или иные признаки выявлены предшествующими работами. Соответственно сокращение определяется исключением части методов конкретных стадий либо отдельных стадий полностью. При этом, однако, следует иметь в виду, что сокращенные варианты приложимы к определенным частям площади, отвечающим указанным условиям, а применение сокращенных вариантов на конкретных участках не исключает необходимость всех работ комплекса на остальной площади.

На каждом этапе полного цикла и сокращенных вариантов прогнозно-поисковых комплексов возможно получение различных результатов решения задач: позитивного (обнаружение объекта поисков), негативного (отсутствие объекта поисков на исследуемой части площади) и неопределенного (недостаток информации для решения задач стадии). Отрицательные результаты требуют прекращения работ на данной части площади. Неопределенные результаты вызывают необходимость возврата к началу предшествующей стадии, критической оценки качества выполненных работ или дополнение ее новыми методами, постановка которых обеспечивает получение однозначных (либо позитивных, либо негативных) результатов. Переоценка работ в случае получения неопределенных результатов может быть причиной неоправданных многократных возвратов к работам на одних и тех же площадях, что отрицательно влияет на эффективность поисков. Поэтому для осуществления конкретного проекта поисков требуется выбор таких методов, которые либо надежно обеспечивали выявление объектов поиска на соответствующих стадиях, либо уверенно обосновывали их отсутствие на изучаемой площади.

Таким образом, критический анализ используемых комплексов методов, оценка их информативно-

сти в отношении выявленных признаков и установление опознаваемости объектов поиска признаками позволяют исключить те методы, которые либо дублируют другие, либо устанавливают второстепенные признаки. С другой стороны, подобный анализ позволяет определить методы, информативность которых столь высока, что они уже на ранних стадиях обеспечивают опознание объектов поисков, принадлежащих к целям работ заключительных стадий. Синтез информации, полученной при названных направлениях оценок методов и признаков, обеспечивает выбор и обоснование оптимальных схем комплексирования.

2.7. Обработка и интерпретация первичного материала при поисках месторождений полезных ископаемых

При поисках и оценке месторождений определяющее значение имеют первичная документация обнажений, горных выработок, буровых скважин, обработка и интерпретация полученных первичных материалов, которые рассматриваются как единый комплекс или система геологических наблюдений. Подобная система изучения включает три тесно связанных вида работ, каждый из которых обладает своей ярко выраженной спецификой: 1) первичная документация обнажений, горных выработок и керна буровых скважин, которая должна с максимальной полнотой отражать все реально наблюдаемые элементы рудоносного пространства, определяющие геологические обстановки нахождения месторождений, прогнозно-поисковые критерии и другие показатели, характеризующие наличие и степень проявления рудоформирующих процессов; 2) внесение всех данных в электронный банк первичных геологических данных и нанесение всех документированных наблюдений на жесткую графическую основу, которые необходимо непрерывно пополнять по мере появления новых наблюдений; эти базы и основы не должны содержать элементов предполагаемой увязки наблюдений, всегда представляя лишь фактическую основу для последующих построе-

ний; 3) геологическая интерпретация полученных наблюдений, составление различного рода комплектов специализированных карт, разрезов и иных сводных геологических документов.

Каждый из этих видов работ характеризуется своей спецификой и требует специального подхода.

Обработка первичного материала и составление документационных легенд

К первичной информации (первичным материалам) относятся все виды полевой документации, фиксирующей результаты проведения наземных и скважинных работ, горных выработок, изучения керна скважин, все виды документации сопровождающие геологические, геофизические и геохимические работы при изучении месторождений, журналы опробования, результаты всех видов вещественного анализа и определения состава пород и руд.

Необходимо отметить, что систематизации и комплексной интерпретации первичной информации подлежат геологические, геохимические и геофизические данные и иная геоинформация о месторождениях, полученные при предшествующих геологосъемочных, поисковых, разведочных, горнодобычных, тематических и научно-исследовательских работах в виде обобщенной информации, содержащейся в комплектах карт геологического содержания с сопровождающими их пояснительными записками, а также в отчетах о ранее проведенных работах.

Обработка и систематизация первичных материалов (в том числе и материалов предшественников) по документации начинается с составления детальной документационной легенды, которая с максимальной полнотой должна предусматривать возможность подробного расчленения картируемых объектов по широкой совокупности признаков, даже тех, значение которых далеко не всегда очевидно. Например, применительно к месторождениям колчеданного семейства при документации вулканических пород с порфировой текстурой количественные соотношения вкрапленников разного размера и состава могут оказаться решающим

признаком для выделения отдельных фаз или ритмов вулканизма, и если они не будут зафиксированы при документации, может быть утрачен один из важнейших критериев воссоздания истории развития вулканического процесса и места в ней рудообразования; тщательная фиксация элементов флюиальности, слоенности, ориентировки кровли и подошвы отдельных подушек в подушечных лавах может оказать неоценимую услугу при расшифровке внутреннего строения вулканических сооружений и направлений течения лавовых потоков, что также весьма важно для выяснения условий локализации руд; учет степени перекристаллизации рудного вещества, сохранности метакolloидных исходных его структур, степень их перекристаллизации, явлений оползневых деформаций руд или зон их перекристаллизации может дать неоценимый материал для расшифровки внутреннего строения рудных залежей, особенно их зональности и других важных черт.

При этом следует иметь в виду, что при геологических построениях с необходимой полнотой могут быть выявлены и интерпретированы только те признаки, которые отражены в документационной легенде. Неучтенные этими легендами наблюдения в большинстве случаев оказываются безвозвратно утерянными. Если в дальнейшем выявится, что они имеют значение, то понадобится вновь выполнить весь объем документационных работ. Между тем горные выработки погашаются, керны скважин сокращаются или утрачиваются и проведение повторной документации оказывается невозможным.

Процесс составления документационной легенды требует значительного труда. Ему должно предшествовать детальное ознакомление с несколькими типовыми участками или разрезами, характеризующими различные части рудного поля (месторождения) со специфическими особенностями строения. По мере накопления этих данных создаются первые макеты документационной легенды, которые постоянно дополняются и детализируются в ходе работы. В процессе составления полевых карт и их уточнения в камеральный период создается окончательная легенда.

Необходимо подчеркнуть, что первичную документацию важно сопровождать информативными тематическими зарисовками, которые далеко не всегда могут быть заменены фотографиями в связи с расплывчатостью границ, нечеткой слоистостью и др.

В общем виде документационные легенды должны включать следующие главные разделы: 1) комплекс осадочных, вулканогенно-осадочных и вулканогенных пород; 2) интрузивные породы; 3) элементы структуры; 4) метаморфические преобразования и продукты гидротермально-метасоматических процессов, связанных с оруденением; 5) рудные тела и проявления рассеянной минерализации; 6) прочие обозначения.

Легенды для документации естественных обнажений, скважин и горных выработок должны предусматривать наиболее полное литолого-петрографическое расчленение вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, отражающее особенности их первичного состава и структуры. Именно эти объективные данные должны быть в основе документационной легенды; следует избегать интерпретационных положений (например, обязательное определение стратиграфической позиции данной породы при полевой документации). Только точная фиксация подробно расчлененных по объективным признакам разновидностей горных пород может обеспечить при дальнейшей обработке данных наблюдений возможность объективной трактовки стратиграфии и структуры месторождений.

Для документации интрузивных пород легенда должна предусматривать расчленение их в соответствии с существующей номенклатурой и выделенными в районе интрузивными комплексами. Для подробной характеристики внутреннего строения комплексов в легенде должны быть отражены все разновидности, поддающиеся картированию в поле. Особое внимание уделяется выделению тех разновидностей, между которыми существуют резкие интрузивные контакты, т. е. таких, которые могут характеризовать самостоятельные этапы внедрения.

Выявление элементов структуры рудных полей — сложная интерпретационная задача. Трудность ее решения объясняется в том числе и плохой обнаженно-

стью рудоносных площадей, сложностью расчленения рудовмещающих толщ и часто полным отсутствием среди них маркирующих горизонтов. В этих условиях выявление структуры участка требует от исследователя особого внимания.

В процессе геологической съемки месторождений необходимо выявить наличие и положение таких элементов структуры, как:

- 1) складчатые формы, являющиеся в ряде рудных полей рудоконтролирующими структурами;
- 2) элементы разрывной тектоники различных направлений, представленные:
 - а) зонами повышенной трещиноватости (ориентированной и неориентированной); б) зонами тектонических брекчий; в) зонами развития деформаций типа будинажа; г) элементами расщепления с выделением зон и областей расщепления различной степени интенсивности и разного строения — параллельно-сланцеватых, линзовидно-сланцеватых, с элементами плейчатости; все эти элементы дизъюнктивных структур могут быть отмечены зонами гидротермально-метасоматических преобразований пород, имеющих различный состав и возраст; д) поясами субвулканических тел, малых интрузий и даек;
- 3) контактные поверхности интрузивных залежей, субвулканических тел и некоторых типов даек, поскольку вдоль таких контактов нередко происходят наиболее интенсивные подвижки в период, предшествовавший рудообразованию.

Одним из основных результатов изучения структуры месторождений должно явиться расчленение элементов структуры на дорудные, внутрирудные и послерудные. Это сложная задача, решение которой вытекает из всех наблюдений над соотношениями различных элементов структуры, проявлений гидротермальных изменений и оруденения.

Основным методом выявления складчатых форм является детальное картирование свит, горизонтов, пластов пород. Картирование должно сопровождаться тщательными замерами ориентировки слоистости, сланцеватости и кливажа.

При изучении и картировании складчатых структур следует помнить, что в большинстве случаев рудовмещающими являются сравнительно небольшие складки и разнообразные их усложнения — флексуры, приразломные складки и т. п. Картирование таких складок часто трудно проводить в условиях плохой обнаженности и особенно в областях развития слабослоистых пород. Вместе с тем выявление этих малых по размерам складчатых структур представляет одну из важных задач геологических съемок на месторождениях, т. к. их положение часто определяет контуры перспективных для поисков участков и обуславливает наиболее эффективное расположение поисковых и оценочных скважин. Для выявления складчатых структур большое значение имеют прослеживание и тщательное картирование маркирующих горизонтов.

При выявлении складчатых форм рекомендуются и некоторые специальные методы:

- а) определение кровли и подошвы пластов, которые иногда могут помочь в определении характера залегания — нормальное или опрокинутое;
- б) изучение линейной ориентировки порообразующих минералов метаморфизованных пород;
- в) исследование положения плоскостей сланцеватости и кливажа по отношению к плоскостям слоистости.

Выявление разрывных нарушений при геологическом изучении рудоносных площадей нередко также связано со значительными трудностями. Это обусловлено рядом факторов, среди которых в первую очередь необходимо отметить: а) слабую обнаженность перспективных территорий и б) то обстоятельство, что древние разломы, играющие существенную роль в локализации оруденения, часто оказываются плотно залеченными внедрением разновозрастных интрузивных образований или развитием разнообразных, последовательно накладывающихся друг на друга метасоматических перерождений. Под влиянием этих процессов ранее раздробленные породы приобретают массивность, а зоны нарушений, если движения по ним не возобновлялись в послерудное время, могут быть легко пропущены даже в хорошо обнаженных или вскрытых горными выработками участках.

Принципы составления легенды к карте околорудноизмененных образований заключаются в том, что на основе макро- и микроскопического изучения измененных пород прежде всего выделяются минеральные парагенезисы, характерные для автотетасоматических регионально контактово- и околорудноизмененных пород. Ореолы изменений показываются цветными линиями и крапом. В тех случаях, когда мощность ореолов изменений незначительна и на имеющихся картах не могут быть показаны их истинные размеры, следует оконтурить участки развития измененных пород в целом, выделяя в пределах этих участков наиболее крупные ореолы изменений цветными условными обозначениями вне масштаба.

Изучение гидротермально-измененных пород в пределах рудных полей и месторождений проводится на основе карт масштабов 1:10 000 — 1:2000, погоризонтных планов и геологических разрезов в следующей последовательности:

- 1) выясняются условия локализации околорудноизмененных пород;
- 2) выясняются закономерности строения метасоматических тел;
- 3) приводится характеристика минерального и химического составов околорудноизмененных пород;
- 4) определяются пространственные, временные и генетические соотношения околорудных метасоматитов и оруденения;
- 5) устанавливается поисковое значение околорудноизмененных пород.

Используя внешние признаки околорудноизмененных пород, исследователь производит их картирование по скважинам, обнажениям и горным выработкам. Обычно составляются два-три поперечных разреза, характеризующих центр и фланги месторождений, план или продольный разрез. При полевой документации необходимо указать предполагаемый первичный состав и процентное содержание вторичных минералов. При этом рекомендуется следующая классификация пород по объему вторичных минералов в породе (в %): 1) 25 — 30 — слабоизмененные; 2) 30 — 60 — сильно измененные; 3) >60 — метасоматиты. Последние называются по вто-

ричным минералам: например, кварц-серицитовый метасоматит, хлорит-карбонатный метасоматит и др. При документации необходимо отмечать число метасоматических зон и их мощность. Из каждой зоны, как показывает опыт, необходимо отбирать не менее 4–5 образцов (проб) и шлифов. Обычно при документации для полной характеристики сравнительно однородного метасоматического тела достаточно 20–30 образцов и шлифов. После просмотра шлифов можно выделить то минимальное число представительных проб, которое необходимо для химического, спектрального, рентгеноструктурного (дифрактометрия), нейтронно-активационного анализов, определения эффективной пористости и объемной массы. Масса пробы до 1 кг обычно достаточна. Если месторождение вскрыто на глубину, сравнительный материал должен быть отобран из различных горизонтов для выяснения смены характера метасоматического процесса по вертикали.

Следующий этап — построение частных метасоматических колонок. При построении колонки для микроскопического изучения пород шлифы отбираются таким образом, чтобы они характеризовали переход от неизменной породы к максимально метасоматически преобразованной. При изучении шлифов определяется минеральный состав породы и устанавливаются взаимоотношения минералов, что позволяет в наблюдаемой ассоциации выделить новообразованные и реликтовые минералы. При микроскопическом изучении пород необходимо установить: какими вторичными продуктами замещается тот или иной минерал; какова форма выделения новообразованных минералов; в какой мере они наследуют форму первичных минералов; как влияют структура и состав первичных пород на структуру и состав метасоматитов; как влияет интенсивность метасоматического преобразования на внешний облик (цвет и структуру) пород.

На основании полученных данных делается вывод о принадлежности околорудных метасоматитов к той или иной метасоматической формации. Выявление формационного типа метасоматитов и отражение его на карте являются главными задачами исследования, поскольку, учитывая данные по металлогенической специализации

метасоматических формаций, можно проводить прогноз на различные типы рудной минерализации.

На основе анализа полученных данных рассматриваются вопросы практического использования измененных пород в конкретных условиях изучаемого рудного поля и месторождения. Здесь главную роль играют закономерности строения метасоматических ореолов и положение в них оруденения.

Для решения многообразных вопросов, касающихся внутреннего строения рудных залежей и их генезиса, важнейшим методом должно быть выделение природных типов руд, их текстурно-структурных разновидностей; минерального состава и закономерностей их распределения в объеме рудной залежи.

При графическом изображении результатов минералогического картирования выделенные природные типы руд целесообразно изображать цветом. Для сплошных руд можно применять сплошную закраску, для вкрапленных и прожилково-вкрапленных — штриховую. Текстуру руд лучше изображать первыми знаками, символически отражающими структурный рисунок руд. Следует также выделять структурные особенности руд, степень раскристаллизации рудных масс и характерные минералы-примеси.

Выявленные в процессе минералогического картирования неоднородности строения руд представляют наиболее важную информацию об условиях формирования рудных залежей. По их взаимоотношению удастся определить последовательность выделения различных минеральных парагенезисов и степень пространственной дифференциации рудного вещества, определить области первичного отложения и механического перемещения рудного вещества, проследить зоны диагенетических и эпигенетических преобразований и установить ряд других особенностей.

Важное значение при поисках и оценке месторождений принадлежит исследованию рудных и парагенетически связанных с ними жильных минералов, находящихся вне контуров промышленных залежей, в том числе и на значительном удалении от них и формирующих ореолы прожилковой и жильной минерализации. При систематическом картировании подоб-

ной минерализации с учетом разнообразных ее характеристик выявляются закономерные различия состава и интенсивности прожилковых образований в различных частях околорудного пространства. При анализе подобного первичного материала возможно выявление минералогических критериев, позволяющих осуществить последовательность приближения к скрытым или перекрытым рудным залежам, а в ряде случаев прогнозировать масштаб ожидаемого оруденения.

Первичные материалы, полученные по результатам минералогического картирования, и по данным химического опробования горных выработок и скважин, должны быть использованы для увязки рудных тел, выявления особенностей их внутреннего строения и зональности месторождений и рудных тел, что наиболее полно может быть достигнуто путем построения концентрированных моделей, которые позволяют выявить характер распределения рудообразующих элементов.

При анализе зональности рекомендуется построение изоконцентрат рудных элементов по данным химических анализов рудных проб на вертикальных или горизонтальных сечениях рудных тел, или их проекциях на вертикальную или горизонтальную плоскости. Помимо изоконцентрат отдельных компонентов дополнительную информацию о рудной зональности можно извлечь из планов изоконцентрат суммы металлов или изолиний отношений содержаний элементов (например, Pb/Zn или $Pb/(Cu + Zn)$). При построении проекций можно использовать среднеарифметические и средневзвешенные содержания, а также данные по конкретным рудным подсечениям или изолинии метропроцентов. При изучении зональности рудных тел кроме этих графических построений можно применять различные их комбинации, блок-диаграммы, произвольные (косые) сечения, различные таблицы и др. Анализируется распределение как основных, так и попутных элементов.

Методически анализ и изучение зональности рудных тел и месторождений проводятся путем обработки и графического отображения данных химического опробования разведочных скважин и горных выработок, вскрывающих рудное тело. При этом в зависимости от выбранного масштаба разрабатывается шкала

градаций содержаний по принципу — чем крупнее масштаб, тем более дробной должна быть шкала градаций. Слишком дробная шкала градаций затрудняет, а порой даже делает невозможным отображение данных опробования на разрезе, а загроможденная не позволяет наглядно изображать и выявлять характерные особенности распределения элементов.

Выбрав масштаб и разработав шкалу градаций содержаний того или иного элемента, необходимо в журнале данных опробования разбить весь рудный интервал по градациям содержаний. Лучше всего это делать в цвете. Затем в соответствии с выбранным масштабом данные опробования, разбитые по градациям, переносятся на проекции горной выработки на составляемом разрезе. После нанесения данных опробования по всем горным выработкам, вскрывающим рудное тело в плоскости данного разреза, необходимо приступить к построению картины зональности, соединяя между собой в контуре рудного тела интервалы равных содержаний в соседних горных выработках. Окончательный рисунок зональности удобнее всего изображать в штриховке, интенсивность которой возрастает с увеличением значений содержаний элементов.

Обработанные данные по всем рудным пересечениям переносятся на проекцию контура рудного тела. Для этого необходимо вынести на проекцию точку пересечения горной выработки с рудным телом. Когда горная выработка пересекает рудное тело под прямым углом, то проектируется точка встречи выработки с кровлей рудного тела. В случае когда скважина или другая любая горная выработка пересекает рудное тело не под прямым углом к кровле рудного тела, следует проецировать точку, расположенную посередине рудного интервала. Нанеся проекции скважин и соответствующие им значения средневзвешенных содержаний элементов, необходимо по методике интерполирования начертить изолинии равных содержаний, предварительно разбив их по градациям так же, как и для построения геохимических разрезов.

Необходимо подчеркнуть, что корректность и результативность изучения зональности обеспечивается при комплексном установлении взаимосвязи распре-

деления концентрационных характеристик в пространстве рудных залежей с другими факторами, в первую очередь формой рудных тел, их параметрами (распределением изомощностей, отношением длин рудных тел к ширине, ширины к мощности, длины к мощности), а также особенностями развития тех или иных текстурно-структурных типов руд. Для выявления таких закономерностей рекомендуется группировка указанных характеристик рудных залежей путем «прессовки» (наложения) отдельных показателей зональности на другие в единых пресс-проекциях.

Не рассматривая методику обработки фактического материала для увязки рудных тел и анализа их внутреннего строения глубже, отметим, что в настоящее время разработаны компьютерные алгоритмы и пакеты программ, позволяющих обрабатывать большие массивы данных с целью получения характеристик и параметров рудной зональности и отстройки их распределений на проекциях различных типов в автоматическом режиме. Необходимо особо подчеркнуть, что описанные выше детальные исследования зональности рудных тел обычно выполняются в процессе разведки месторождений.

Цифровая база данных первичной геологической информации¹

База данных первичной геологической информации необходима для обработки, структурирования и надежного хранения с возможностью изменений, дополнений и получения отчетов в удобном для пользователей виде. Помимо этого, в связи с широким использованием ГИС-технологий при геологическом изучении месторождений полезных ископаемых данные должны корректно и оперативно отображаться на цифровых картах, планах, разрезах.

Общие методические подходы, технологии ведения и сертификации цифровых баз данных первичных геологических материалов достаточно подробно рассмотрены в специальных работах. Не рассматривая детали этих методических подходов, отметим следующее.

Ввод в базу данных первичной (и обобщенной) геологической информации требует четкого соответствия структуре базы данных. Весь массив первичной информации и обобщенных материалов разбивается на крупные блоки согласно логической схеме базы данных. Заполнение отдельных полей базы ограничено смысловым характером информации и форматом ее представления.

В целом объем и содержание электронных баз данных определяется исполнителем работ, исходя из необходимой и достаточной информации, необходимой для обоснования результатов работ по поискам и оценке месторождений. Ниже изложены основные методические принципы и подходы построения цифровой базы данных первичной геологической информации и работы с ней, разработанной при литолого-структурных и минералого-геохимических исследованиях зон золото-сульфидной минерализации в углеродисто-терригенных породах с целью поисков золоторудных месторождений в одном из золоторудных районов Южного Урала.

Предназначенная для занесения в базу геологическая информация представляет собой данные бурения, приведенные к форме электронных таблиц. К этим данным относятся прежде всего параметры пространственной локализации обнажений, горных выработок, скважин и поинтервальная документация керна. Исходная поинтервальная документация при этом разбивается на блоки: текстовое описание, величина интервалов, цветовые характеристики пород, представленные в цифровом виде, характер, формы проявления и интенсивность рудной минерализации и другие данные. Отдельным блоком в базу данных вносятся результаты аналитических исследований по отобраным пробам.

Разработанные на основе пакета программ MS Access2000 структура и состав базы данных позволяют не только вносить в нее данные первичной геологической информации и данные опробования, но и работать с базой в среде GIS ArcView — наиболее распространенным картографическим пакетом программ.

Основой структуры базы данных являются таблицы («Uchastki», «Wells», «Intervals» и др.), содержащие пер-

¹ При составлении этого раздела использованы материалы Ч.Х. Арифюлова.

вичные данные — наименования участков работ, исходные данные по обнажениям, горным выработкам, скважинам с поинтервальными описаниями и результатами анализов проб. Таблицы должны быть связаны между собой по совпадающим значениям ключевых полей. Наличие простых и составных ключевых полей обеспечивает уникальность и идентичность данных в таблицах. Составные ключевые поля должны быть заданы таким образом, чтобы в базу могли быть введены любые номера, например, скважин с перекрывающимися номерами, что часто бывает на практике, без риска потери информации. Ввод одинакового составного ключа или импорт совпадающих по ключу данных должен быть исключен.

Необходимо предусматривать систему каскадного удаления и обновления связанных записей в базе данных. То есть при удалении каких-либо обнажений, горных выработок, скважин полностью удаляется вся информация по ним. Работа подобной системы обусловлена наличием в структуре базы данных связей различного ранга — простых и с обеспечением целостности данных: «одних к одному» и «один ко многим».

Кроме блока первичных данных в базе должны содержаться несколько рабочих таблиц («Profiles» и буферы обновления), а также таблицы подстановки для кодифицированных значений («P_code» — коды пород, «MF_code» — формы проявления минерализации, «MS_code» — состав минерализации, «MI_code» — интенсивность минерализации и «Type» — метод бурения и другие). Подобные таблицы должны быть связаны между собой и с основными таблицами в режиме обеспечения целостности данных с каскадным обновлением связанных полей.

Внесение и удаление записей из таблиц-кодификаторов производится вручную, причем аннулировать запись в кодификаторе можно только после удаления кодов из связанных таблиц. При этом физическая потеря данных в этих таблицах не происходит.

Таблицы буферов обновления («Bufer_spektr», «Bufer_Au_sp», «Bufer_Au_pg») повторяют структуру основной таблицы «Intervals» для ограниченного числа полей. Они созданы для проверки и последующего ввода дополнительной информации в существующие записи.

Модуль связи базы данных с ГИС-проектами ArcView физически не входит в структуру самой базы. Он создается на языке программирования Avenue и подключается по необходимости в ГИС-проект. Модуль предназначен для построения основы цифровых геологических разрезов, опираясь на данные первичной документации и результаты опробования, а также для добавления плана (карты) первичных данных в проект.

Работа пользователя с базой данных происходит с помощью специальных экранных форм. Экранные формы работают в режимах ввода, импорта, экспорта, редактирования, печати и просмотра данных. Они содержат поля непосредственного доступа к данным, а также управляющие элементы — кнопки вызова процедур, окна поиска, задания фильтров. Организация работы с данными через экранные формы обеспечивает сохранность и целостность базы данных, предохраняя информацию от случайного или намеренного внесения первичного материала, поскольку прямой доступ пользователя к данным закрыт. Выборка данных для формы из соответствующей таблицы контролируется внутренними, скрытыми запросами.

В начале работы открывается стартовая экранная форма — основное меню, из которого можно выбрать необходимый участок работы и перейти к следующей экранной форме.

Для заполнения базы данных существуют два пути. Первый — это загрузка в базу подготовленных в виде электронных таблиц Excel данных с помощью механизма импорта и обновления. В этом случае должно соблюдаться главное правило — количество полей, их названия и формат должны соответствовать таковым в таблицах базы данных. В противном случае строки, не соответствующие по формату, не будут добавлены в базу. Для удобства пользователей созданы готовые шаблоны таблиц Excel для внесения первичной информации, а также различных аналитических данных. При импорте информация сначала загружается в таблицу-дубликат и проверяется на соответствие типов данных, уникальность ключей и т. п., затем разбивается на тематические блоки и записывается в соответствующие основные таблицы базы, а буфер обнуляется.

В случае ошибки при импорте система выдает сообщение о числе потерянных записей, поиск которых потом ведется вручную. При добавлении данных каждый раз происходит обновление старых записей. Все указанные операции сопровождаются экранными сообщениями, поэтому пользователь может следить за правильностью хода импорта данных и вовремя определить ошибки.

Второй путь — ручной ввод и редакция данных через специальную экранную форму «Просмотр и редактирование данных по скважине», содержащую вкладки «Информация по скважине: редактирование», «Описание интервалов (ввод, просмотр, редактирование)», «Цветовые характеристики», «Анализы результатов опробования», «Спектральный анализ». Последовательно открывая формы-вкладки, можно ввести или изменить всю имеющуюся первичную информацию. Формы-вкладки содержат как поля, значения которых полностью определяются пользователем (например, номер скважины, ее географическое положение, описание интервалов, примечания, номера проб, цветовые характеристики, результаты анализов), так и поля, значения которых кодифицированы и заполняются через предложенный список (метод бурения, составной код минерализации и др.). В случае появления нового значения этих полей необходимо сначала внести редакцию в таблицы-кодификаторы, открыв нужную форму из стартового меню.

Все предназначенные для заполнения формы, кроме той, в которую вносятся первичные данные, выполнены в виде таблиц, что упрощает работу с ними. Формы работают в режиме обновления. Внеся новые данные, необходимо подтвердить обновление, вызвав соответствующую процедуру.

Редактирование вкладок «Анализы результатов опробования» и «Спектральный анализ» через форму трудоемко, поэтому если эти данные существуют в таблицах Excel, то их рекомендуется вводить посредством импорта, если определены все остальные характеристики по скважине и интервалам.

Организация базы данных предусматривает не только ввод первичной информации, но и получение отчетов

по запросам в виде экранных форм, экспорт в таблицы Excel и компоновку отчетов для отправки на печать.

Отчеты аналогичны формам, но не имеют внутреннего управления и предназначены лишь для печати на принтер, указанный по умолчанию в системе Windows.

В стартовой форме указан путь лишь к двум, не имеющим аналогов среди прочих форм, отчетам — списку скважин с координатами и по профилям. Все остальные отчеты имеют контекстную связь с одноименными формами и печатаются прямо из них. Например, форма «Анализ результатов опробования» является сквозной по всем данным участка работ. Пользователь имеет возможность осуществить выборку по заданным фильтрам и по значениям полей в формах. Результирующую форму можно распечатать. Таким же образом можно вывести на экран, печать или экспортировать в таблицу Excel данные по профилям. Отчет предоставляется в виде формы, содержащей номера скважин профиля, их координаты и высотную отметку устья скважины.

Некоторые из форм, управляющих таблицами-кодификаторами, также могут быть сохранены в формате Excel. Таковыми являются формы «Коды минерализации, представленные на текущий момент в базе» и «Кодификатор минерализации».

Основным преимуществом базы является возможность подключения содержащейся в ней информации в ГИС-проекты, созданные в среде ArcView.

Специализированный модуль — «Database Access» добавляет в проект ArcView тринадцать программных кодов, из которых три доступны для необходимой пользовательской редакции. В кодах прописаны пути к информации, находящейся в базе, описаны процедуры обращения к данным из соответствующих полей таблиц и их обработки.

Работа модуля с базой данных обеспечивается установкой связи ArcView с драйвером MS Access через источник данных ODBC в операционной системе Windows.

Добавление плана (карты) обнажений, горных выработок, скважин в проект ArcView происходит следующим образом. Посредством SQL -запроса к нужной

таблице базы данных (в данном случае — это таблица скважин «Wells») в проекте создается временная таблица, целиком соответствующая исходной таблице базы. При необходимости модуль «Database Access» позволяет выбрать из исходной таблицы только нужные колонки. Конвертирование временной таблицы в конечное точечное покрытие (шейп-файл) скважин и открытие нового вида (View) с картой ведется стандартными средствами пакета ArcView.

Для программного построения основы геологического разреза по интервалам скважин (фактически стратиграфических колонок) пользователю необходимо определить, по каким профилям будут отстраиваться разрезы. Для этого в базе данных предусмотрена управляющая форма, вызов которой производится из стартового экранного меню. После задания необходимых профилей, с помощью другой формы назначаются скважины, принадлежащие этим профилям. При желании можно вывести на экран отчет по выбранным профилям и скважинам.

После этого, находясь в окне проекта ArcView, пользователь должен лишь подставить номера (названия) профилей в соответствующие строки доступной ему части программного кода модуля «Database Access», выполнить компиляцию этого кода и отработать приложение. В итоге создаются виды (View) с разрезами. Набор тем в каждом виде стандартный: линейная тема, аппроксимирующая поверхность по отметкам устья скважин, точечная тема, содержащая имена и координаты скважин каждого разреза, полигональная тема колонок в заданном масштабе, расцветченных в соответствии с цветовыми характеристиками интервалов, и тема горизонтальных линий глубин (высот), проведенных через 1 м.

Дальнейшая работа с разрезами подразумевает знание ArcView на уровне подготовленного пользователя и не содержит какой-либо специфики.

Структура и состав базы данных могут быть расширены с целью внесения в базу любой информации, образующейся при изучении месторождений (ведении съемочных, поисковых и разведочных работ на различных объектах, хранении и обработке результатов мар-

шрутных геологических, минералого-геохимических, литогеохимических, шлиховых и других видов работ). Определенная часть имеющейся структуры базы данных может быть изменена с учетом специфики указанных работ, в базу должны быть добавлены новые таблицы, кодификаторы и экранные формы. Некоторые изменения, безусловно, могут быть внесены в программный код модуля «Database Access», однако при этом принцип работы базы данных не изменится, что не вызовет сложностей в обращении с ней у опытного пользователя.

Составление фактической основы карт и разрезов для нанесения данных первичной документации

Одним из важнейших этапов обработки геологических наблюдений, собранных в процессе документации, является составление карт и разрезов фактического материала.

Прилагаемые обычно к геологическим картам и разрезам основы фактического материала отражают главным образом плотность точек наблюдения и наложение маркшейдерских данных. Между тем при составлении основ фактического материала наряду с фиксацией плотности наблюдений необходимо обеспечить точное и полное отражение всех геологических данных, полученных при документации. Только при систематическом повседневном нанесении этих данных на документы, служащие основой будущих геологических построений, можно в любое время пересмотреть существующие представления, проверить степень их обоснованности или изменить их в соответствии с новыми данными. Основы с фактическим геологическим материалом следует составлять на плотном материале.

Карты фактического материала часто удобно иметь в двух масштабах — один соответствует тому, который принят для окончательного составления, и другой в два раза крупнее. Пользуясь первым, легче рассматривать строение площади в целом, а при работе со вторым можно отразить ряд важных деталей первичных наблюдений, который в более мелком масштабе нанести не всегда удается.

На картах геологического фактического материала рекомендуется наносить следующее.

1. Обнаженные участки, контуры которых удобно выделить пунктиром. В пределах этих участков зарисовываются прослеженные в поле геологические контуры и наносятся все замеренные элементы залегания пород, появления метаморфических и метасоматических изменений, рассланцевания, направление и степень концентрации рудной минерализации, ее состав.
2. Изолированные естественные обнажения, рядом с номером которых в перовом знаке или в цветной окраске выносятся данные наблюдений. Если составляется основа, на которую наносится первичная литология и продукты гидротермально-метасоматических изменений и рудогенеза одновременно, то обозначения первичной литологии удобно наносить с одной стороны от точки наблюдений, а элементы структуры, метаморфизма, рудной минерализации — с другой.
3. Уменьшенную до масштаба составляемого материала геологическую ситуацию, выявленную при документации горных выработок или съемок детальных масштабов.
4. Спроектированные на поверхность твердо установленные в подземных выработках или по нескольким разведочным и структурным профилям элементы геологического строения (контакты пород, нарушения, дайки, рудные тела и т. д.), положение которых не вызывает сомнений.
5. Все картировочные, разведочные, структурные и другие скважины (в том числе и выработки предшественников), рядом с номерами которых выносятся данные геологических наблюдений, подобно тому как это было описано для естественных обнажений.
6. Все данные опробования. Все результаты геофизических и геохимических работ, в том числе ранее проведенных.

Ценность основы карт и разрезов фактических материалов заключается в полноте выноса всех данных, полученных при документации с использованием максимально подробных документационных легенд.

Карты фактического материала должны систематически пополняться по мере накопления геологических наблюдений. Необходимость составления таких карт, лишенных элементов интерполяции, определяется следующими обстоятельствами: 1) этот документ полно суммирует в легко обозреваемом виде все объективные данные о геологическом строении участка, имеющиеся на момент составления карты; 2) при получении новых данных (например, при дополнительном разбуривании площади) новый материал легко добавляется к имеющемуся, причем единство легенды обеспечивает возможность полной увязки этих данных; 3) степень обоснованности составляемой на такой основе карты в любое время может быть проверена без большой затраты труда, причем элемент интерпретации всегда может быть отделен от установленных данных.

Основы с фактическим материалом для построения поперечных разрезов имеют решающее значение для правильного геологического обслуживания поисков и оценки месторождений. Эти материалы необходимо составлять на топографической основе, на которую должны быть вынесены все буровые скважины, пробуренные в данном (или близком) сечении, все горные выработки, как подземные так и открытые, а также рельеф поверхности.

На фактическую основу разреза наносятся фактические материалы, полученные при съемке поверхности, данные документации горных выработок (если они расположены в сечении составляемого профиля). Затем на чертеж выносятся данные документации скважин. При составлении детальных разрезов (масштабов 1:2000 и крупнее) не следует допускать упрощения при нанесении геологических данных и объединении различных пород, отмеченные при документации. Если интервал подсечения настолько мал, что не укладывается в масштаб, то этот знак можно вынести в сторону от скважины, увеличив его размер. При работе с более мелкими масштабами тонкослоистые породы приходится объединять в пачки, но надо стремиться свести эти объединения до минимума. Контакты между разновидностями пород, если их не удастся замерить при доку-

ментации, наносятся перпендикулярно линии скважин. Если угол падения контакта можно измерить, то линия контакта наносится под тем углом к оси скважины, под которым он наблюдался, при этом следует помнить, что поскольку азимут падения в большинстве скважин остается не истинным, то направление угла падения остается условным, как это отмечалось выше.

Элементы ориентированных структур и текстур пород, углы падения слоистости структурно-тектонических элементов и другие должны фиксироваться особенно тщательно. Гидротермальные изменения и проявления рудной минерализации удобнее наносить в цветовой легенде, при этом следует подробно отражать углы наклона всех ориентированных элементов текстур, зон расланцевания, будинажа, полосчатости, пятнистости и др. Составление подобных основ для профилей само по себе может избавить от ряда ошибочных построений.

Геологическая интерпретация наблюдений при составлении различных комплектов специализированных карт, разрезов и иных геологических построений

Переход от карт и разрезов, являющихся фактической основой, к созданию собственно геологических и различного рода специализированных построений — один из ответственных этапов поисковых работ. При этом к первоочередной задаче относятся составление легенд для таких карт, которые, с одной стороны, должны суммировать всю необходимую информацию, а с другой — не содержать детали, не имеющие значения для решения поставленных задач. Таким образом осуществляется переход от аналитической (документационной) легенды к синтетической. Все многообразие элементов строения рудного поля или месторождения должно быть проанализировано на этой стадии с целью максимально полного познания истории их развития и характера взаимосвязи (первичных форм накоплений, последовательности развития деформаций, метаморфических преобразований различных типов, гидротермальных изменений, стадий рудоотложения и др.). Применительно к рудным полям и месторожде-

ниям наиболее удобные масштабы: 1:25 000 — 1:10 000 и 1:2000 — 1:500 соответственно.

Практическим приемом для построений карт и разрезов подобного типа представляется работа на листах прозрачной бумаги, которые накладываются на жесткую фактическую основу. Это позволяет рассмотреть различные варианты интерполяции фактических данных и наметить пути для проверки каждого из них. При этом одна и та же фактическая основа может быть использована для построения целого ряда специализированных карт и разрезов — палеовулканических, отражающих эволюцию вулканизма и связанных с ним дислокаций, метаморфизма, специфики распределения минерализации различных типов и других. На специальных накладах могут быть отстроены особенности распределения различных минеральных типов и текстур руд, элементов-примесей в рудо- и породобразующих минералах и др.

Целесообразность составления карт-накладок на жесткой фактической основе определяется также удобством пересмотра ранее сложившихся представлений в связи с появлением новых фактических данных по горным выработкам и буровым скважинам, иногда вызывающим необходимость существенного переосмысливания имевшегося материала.

В результате систематизации и генерализации первичных материалов, а также данных предшествующих работ составляется комплект материалов, отражающих конечные результаты работ. В общем виде комплект включает следующие материалы.

1. Геологическая карта и разрезы рудного поля, месторождений.
2. Структурно-формационные (структурно-фациальные) карта и разрезы рудного поля, месторождения с обязательным отражением всех элементов геолого-поисковой модели месторождения.
3. Планы поверхности, горизонтов и разреза, характеризующие морфологию и размеры рудных тел, метасоматическую, рудно-минералогическую и геохимическую зональность.
4. Планы и разрезы (и/или) проекции рудных тел с отражением распределения природных (минеральных) типов и сортов руд.

5. Карты и разрезы интерпретации геофизических и геохимических материалов¹.
6. Геологические колонки скважин масштаба 1:2000 — 1:1000 с нанесением данных опробования и результатами ГИС.
7. Карта поисковых критериев и признаков.
8. Материалы, обосновывающие оценку прогнозных ресурсов и запасов категории С₂.

Этот рекомендуемый перечень материалов в зависимости от особенностей строения и методов изучения тех или иных геолого-промышленных типов месторождений может быть видоизменен и дополнен другими материалами. В частности, в число итоговых материалов по результатам изучения коренных месторождений алмазов кимберлитового типа рекомендуется включать:

- 1) структурно-формационно-фациальные карты поверхности с отображением формаций магматических пород, разломов (с дифференциацией по глубине залегания и возрасту и отношению к кимберлитовому магматизму), контуров положительных и отрицательных структур, аномалий «трубчатого» и «даечного» типов;
- 2) структурно-формационно-фациальные карты базального горизонта отложений, перекрывающих кимберлиты с отображением фаций перекрывающих отложений, изоглубин подошвы горизонта, областей аккумуляции и денурации, поднятий и прогибов;
- 3) карты локальных геофизических аномалий «трубчатого» и «дайкового» типа с выделением аномалий ранга перспективных геофизических участков;
- 4) схемы наземной заверки перспективных геофизических участков.

К числу важных геологических построений, выполняемых на основе геологической интерпретации наблюдений и обработки первичных материалов, относится разработка моделей рудных месторождений — соз-

¹ Способы, приемы и методы интерпретации геофизических и геохимических методов достаточно подробно изложены в соответствующих методических руководствах и инструкциях и здесь не рассматриваются.

дание их обобщенных образов, включающих главные характеристики естественных объектов в непротиворечивых и доступных для наблюдений сочетаниях. При этом упрощения природных оригиналов должны быть ограничены определенными пределами, не допускающими утрату возможности сопоставления любого конкретного месторождения с соответствующими моделями. Вместе с тем генерализация признаков, проводимая при моделировании, вызывает необходимость корректировки представлений о конкретных объектах при существенной неполноте их совпадения с моделями по главным признакам.

2.8. Условия и обстановки ведения поисков

Методика поисков рудных месторождений определяется не только геологическим строением месторождений, но и обстановками и природными условиями ведения поисковых работ, влияющими на характер и степень проявленности поисковых признаков и на возможности и особенности применения поисковых методов.

Прогнозные условия ведения поисков определяются ландшафтными особенностями территории поисков, т. е. рельефом, климатом, характером поверхностных и подземных вод, сочетанием почв и растительных сообществ.

Рельеф района поисков оказывает решающее влияние на выбор рациональных методов поисков, т. к. он определяет степень обнаженности района, условия эрозионного вскрытия геологических формаций и связанных с ними месторождений, характер четвертичного покрова, почв и растительности. С этой точки зрения выделяются следующие основные типы рельефа, определяющие условия ведения поисков: высокогорный, среднегорный и равнинный.

В высокогорном рельефе с максимальными абсолютными высотами от 7000 до 2500 м и глубиной расчленения 2000 — 4000 м обнаженность коренных пород высокая, наносами, в виде осыпей и речных отложений, покрыты незначительные площади. В этих условиях преобладают процессы физического разрушения

горных пород в связи с чем зона окисления отсутствует либо проявлена слабо. Механический разнос рудного материала в виде обломков и шлихов происходит весьма интенсивно с образованием хорошо проявленных ореолов и потоков рассеяния. Высокая расчлененность рельефа позволяет изучать геологические разрезы на глубину до 2000–3000 м и предоставляет возможность выявления месторождений на всем этом интервале.

В среднегорном рельефе с наиболее характерными высотными отметками от 500–1000 м до 3000 м степень расчлененности рельефа различна и соответственно различна и обнаженность коренных пород — от значительной до малой, но намного хуже, чем в высокогорных районах. Обширные площади могут быть перекрыты элювиальными, делювиальными, пролювиальными и речными отложениями. Среднегорные районы могут быть безлесными и залесенными, что сильно осложняет поисковые работы. Зона окисления обычно хорошо проработана на значительную глубину. Разнос рудного материала происходит весьма интенсивно с образованием хорошо выраженных ореолов и потоков рассеяния всех типов. Условия для применения геохимических методов поисков весьма благоприятны.

В низкогорных районах с абсолютными отметками 1000–200 м и глубиной расчленения, обычно не превышающей 100–300 м, выделяются участки с резкими и мягкими формами рельефа. В этих ландшафтных обстановках решающее значение в определении условий проведения поисков принадлежит климату.

В условиях сухого климата низкогорье хорошо открыто; в условиях средней полосы склоны и пологие вершины гор густо заросли лесами, делювий и элювий закрыты почвенным покровом, скрывающим коренные породы, обнажения приурочены к вершинам увалов и долинам рек; на севере поисковые условия несколько улучшаются за счет уменьшения густоты растительного покрова. Особенно неблагоприятны для поисков широкие речные долины, межгорные впадины, депрессии, заболоченные низины. В этих условиях наиболее эффективны поиски валунно-речным, шлиховым методами, а также по вторичным ореолам рассеяния.

В районах со слаборасчлененным рельефом и в равнинных обнаженность коренных пород очень низкая, приуроченная к бортам редких рек и оврагов; коренные породы вскрыты на малую глубину. Большая часть территории поисков перекрыта чехлом молодых рыхлых отложений, на которых часто развиваются лесные массивы. Зона окисления месторождений в связи с высоким уровнем грунтовых вод не очень глубокая, а разнос рудного материала в большинстве случаев незначителен или отсутствует. В этих поисковых условиях возможность выявления месторождений ограничена верхними, случайно вскрытыми эрозией горизонтами. То же относится к применению геолого-минералогических и геохимических методов. Здесь возможно вести поиски, сочетая геофизические методы с буровыми.

По степени развития рыхлых отложений, перекрывающих коренные породы, различаются площади следующих категорий (по В.И. Красникову).

Площади первой категории, обнаженные или открытые маломощными (до 1–2 м) элювиально-делювиальными отложениями, в которых развиты геохимические ореолы нормальной интенсивности и широко проявлены другие, в том числе и визуальные поисковые признаки. В общем, большинство используемых в практике поисковых методов могут дать положительный эффект при поисках на площадях первой категории.

Площади второй категории, перекрытые делювиально-покровными отложениями средней мощности (до 5 м), характеризуются развитием резко ослабленных у дневной поверхности ореолов рассеяния рудного вещества и редким проявлением других поисковых признаков. На этих площадях могут применяться гидрохимические и биохимические методы, обладающие повышенной глубиной.

Площади третьей категории, перекрытые покровными суглинками и другими привночными отложениями значительной мощности (до 20–30 м и более), характеризуются развитием неглубоких погребенных ореолов рассеяния и полным отсутствием других поисковых признаков, за исключением глубинных геофизических аномалий. На площадях этой категории в бла-

гоприятных условиях могут быть использованы гидрохимические и биохимические методы поисков.

Площади четвертой категории перекрыты мощным (многие десятки — первые сотни метров) чехлом отложений аллювиального, ледникового, озерного, морского и илового происхождения с глубоко погребенными ореолами рассеяния и полным отсутствием других поисковых признаков, за исключением глубинных геофизических аномалий. Перспективные площади этой категории с весьма неблагоприятными условиями ведения поисковых работ должны исследоваться глубинными геофизическими методами и подвергаться разбурированию скважинами с их комплексным изучением.

Резко различными природными условиями проведения поисковых работ характеризуются ландшафтные обстановки аридных и гумидных биоклиматических зон.

В аридных зонах (полупустыни, степь, лесостепье) со щелочными и нейтральными почвами и почвенно-грунтовыми водами преобладают процессы физического выветривания и переноса, связанные с резкими изменениями температурного режима. Эти ландшафты благоприятны для повышенных концентраций большинства элементов-индикаторов и спутников рудной минерализации в приповерхностных природных образованиях. Рудные выходы выщелачиваются слабо, широко развиты механические ореолы рассеяния, обычно проявленные вблизи дневной поверхности, в рыхлых отложениях при их незначительной мощности, что способствует эффективному применению литохимических методов их выявления. При более значительном покрове рыхлых отложений образуется биохимические и литохимические солевые ореолы.

В гумидных зонах с тропическим и субтропическим климатом преобладают биохимические процессы выветривания, приводящие к образованию мощных кор выветривания, выносу растворенного вещества и механическому перемещению продуктов выветривания. В умеренно теплых гумидных зонах высокая миграционная способность рудных элементов сохраняется, что приводит к формированию ореолов большой протяженности, часто оторванных от коренных рудных концентраций. В холодных гумидных зонах резко преобладают процес-

сы физической дезинтеграции, морозного выветривания и выноса рудных минералов с их накоплением в аллювиальных потоках рассеяния. Химическая миграция рудных элементов и спутников минерализации проявляется слабо; рудные выходы слабо изменены.

Учитывая многообразие природных обстановок, нередко меняющихся в пределах сравнительно небольших площадей, для обоснования постановки тех или иных поисковых методов составляются карты ландшафтно-поискового районирования.

Таким образом, выбор наиболее эффективных и информативных методов поисков месторождений данного геолого-промышленного типа проводится с учетом природных условий в районах проведения поисковых работ, состава и мощности перекрывающего рыхлого чехла.

Конкретные обстановки выявления месторождений определяются степенью эродированности, мощностью перекрывающих отложений и расчлененностью рельефа. Они определяют возможность выявления различных по рудоносности частей месторождений: надрудного, рудоносного, подрудного пространств, что отвечает основным обстановкам ведения поисков месторождений.

Обстановки могут быть проиллюстрированы на примере меднопорфировых месторождений (Кривцов и др., 2001) (рис. 2.8.1).

Первый вариант соответствует эрозионному срезу, расположенному на расстоянии в сотни метров (более 200–300 м) над верхними выклиниваниями рудоносных штоков. Прямые признаки присутствия рудных тел на глубине на дневной поверхности не имеют выражения. К косвенным могут быть отнесены: наличие жильной полиметаллической, иногда серной с марказитом минерализации в пропицитизированных и аргиллизированных породах; тела брекчий, нередко минерализованных; слабо проявленные комплексные геохимические аномалии меди, мышьяка, свинца, цинка и серебра; гравиметрические аномалии, подтверждающие присутствие на глубине интрузивных масс.

Второй вариант отвечает эрозионным сечениям, вскрывающим верхнее выклинивание рудоносных

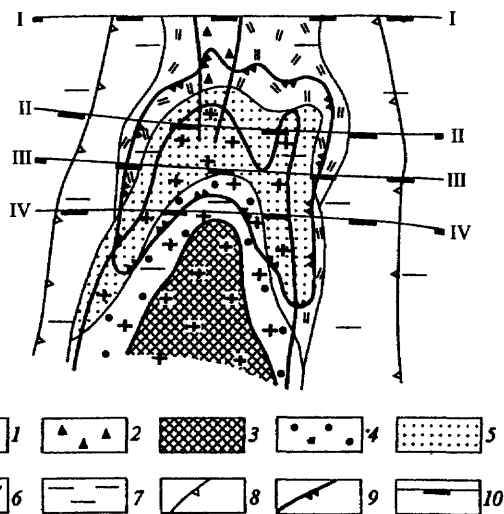


Рис. 2.8.1. Модель меднопорфирового месторождения (по А.И. Кривцову):

- 1 — рудоносный порфировый интрузив; 2 — брекчиевая трубка;
- 3 — кварцевое ядро; 4 — зона калишпатизации и биотитизации;
- 5 — зона окварцевания и серицитизации; 6 — зона аргиллизации;
- 7 — пропилитизированные породы; 8 — границы ореола интенсивной пиритизации; 9 — контуры промышленных руд;
- 10 — варианты положения эрозионного среза (I—IV)

порфировых интрузивов. Эти зоны маркируются пропилитизацией, мощными ореолами пиритовой вкрапленности с халькопиритовой минерализацией, проявлениями свинцово-цинковой минерализации, турмалиновыми и медно-турмалиновыми жилами, выходами рудоносных порфировых интрузивов; комплексными геохимическими аномалиями меди, молибдена, свинца, цинка, золота и серебра, брекчиевыми телами.

Третий вариант соответствует эрозионному срезу, вскрывающему рудоносное пространство. При таком положении эрозионного среза на поверхности обнажаются: рудоносные порфировые интрузивы, минерализованные зоны в окварцованных, серицитизированных, калишпатизированных породах, пиритовые ореолы в пропилитах, часто присутствуют брекчиевые тела. Оруденение находит отражение во вто-

ричных геохимических аномалиях меди, молибдена, свинца и цинка, а также в геофизических аномалиях вызванной поляризации, совпадающих с геохимическими аномалиями и отражающих наличие зон сульфидизации. В гумидных ландшафтах проявляются зоны окисления и выщелачивания, которые благодаря развитию вторичных минералов железа, меди, цветных охр хорошо выделяются на фоне окружающих пород и обнаруживаются при дешифрировании аэрофотоснимков.

Четвертый вариант отвечает положению глубокого эрозионного среза, близкого к нижним выклиниваниям рудных тел. Для этого варианта характерно развитие окварцованных пород и кварц-полевошпатовых тел, сопровождающихся медно-молибденовой, а также нередко вольфрамовой и оловянной минерализацией с соответствующими комплексными геохимическими аномалиями меди, молибдена, висмута, вольфрама, олова.

Различия в проанализированных обстановках ведения поисков влияют на выбор методики работ по выявлению рудных тел, расположение скважин, их глубину, а также набор применяемых геофизических методов.

2.9. Оценка результатов поисковых работ

В результате поисковых работ оконтуриваются потенциальные рудные поля, перспективные участки, обнаруживаются проявления полезных ископаемых и оцениваются выявленные месторождения, которые по своим геологическим, экологическим условиям и технико-экономическим показателям пригодны для промышленного освоения. Поиски осуществляются дискретно, поэтапно в соответствии со стадиями поисковых работ (общие поиски, поиски, оценочные работы), каждая из которых имеет свои задачи и конечные результаты. Переход к последующей стадии основывается при достижении результатов предшествующей стадии, которые находят отражение в изученности площадей, намечаемых для постановки поисковых работ.

Основной задачей *стадии общих поисков*, проводимых в масштабах 1:50 000 – 1:25 000, является геологическое изучение недр с целью выделения рудных полей и локальных площадей, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых. При поисковых работах этого масштаба производится геологическое изучение участков распространения полезных ископаемых, устанавливается природа выявленных геофизических и геохимических аномалий и в результате выделяются новые или уточняются параметры известных рудных полей и перспективных участков с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Показателями результативности работ стадии общих поисков являются выделение и оконтуривание потенциальных рудных полей и геолого-экономическая оценка их прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Показателем качества работ этой стадии геологоразведочного процесса является достоверное выявление необходимых и возможных факторов (прямых и косвенных поисковых признаков), позволяющих оконтурить потенциальные рудные поля и разбраковать их по степени перспективности.

При достижении необходимых показателей результативности и качества работ на стадии общих поисков в потенциальном рудном районе на основе построенной прогнозно-поисковой модели выделяются потенциальные рудные поля с различной степенью перспективности. Определяется очередность их дальнейшего поискового освоения с учетом условий проведения поисков, устанавливаются последовательность, масштабы и объемы геологических, горно-буровых, геофизических и геохимических работ стадии поисков.

Предполагаемые геологические и поисковые обстановки нахождения выделенных рудных полей (с разбракровкой их по степени перспективности), вероятные глубины обнаружения промышленных руд, места заложения планируемых горных выработок и буровых скважин отражаются на комплекте специализированных геологических прогнозных карт масштаба 1:50 000, служащих основой для планирования дальнейших работ.

Работы *стадии поисков* проводятся в пределах рудных полей или их частей, выявленных в процессе

предшествующих геологоразведочных работ, по которым имеется оценка прогнозных ресурсов категории P_2 . В зависимости от сложности геологического строения территории, геолого-промышленного типа прогнозируемого оруденения и глубинности исследований поиски могут проводиться в масштабах 1:25 000 – 1:10 000. По результатам полученной геологической, геохимической и геофизической информации и ее комплексной интерпретации локализуются перспективные площади, рудные поля, участки и объекты. Проверка природы геохимических и геофизических аномалий, вскрытие и изучение проявлений тел полезных ископаемых осуществляются поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяется содержание основных и попутных компонентов, в необходимых случаях — предварительные технологические свойства руд. Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных участков и объектов. На изученных проявлениях полезных ископаемых определяются прогнозные ресурсы категории P_1 , а также частично подсчитываются запасы категории C_2 .

Показателями результативности стадии поисковых работ являются оконтуривание поисковых участков (потенциальных месторождений) и оценка их ресурсов категории P_1 , подлежащих реализации в запасы при дальнейших ГРП.

Показателями качества работ этой стадии является достоверное выявление необходимых и возможных факторов (прямых и косвенных поисковых признаков), свидетельствующих о возможности обнаружения потенциального месторождения.

При достижении требуемых показателей результативности и качества ГРП на стадии поисковых работ в пределах ранее оконтуренных рудных полей на основе построенной прогнозно-геологической модели должны быть выделены площади поисковых участков с различной степенью перспективности в отношении вероятности обнаружения промышленного месторождения. Для этих участков определяется последовательность, масштабы и объемы последующих ГРП стадии

оценочных работ. В случае выявления рудных подсечений при проверке геофизических и геохимических аномалий или площадей с комбинацией обоих типов аномалий дальнейшая их оценка производится на стадии оценочных работ.

Работы *оценочной стадии* проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади и изучения геолого-структурных особенностей потенциально промышленного месторождения проводится геологическая съемка и составляется геологическая карта масштаба 1:25 000 – 1:10 000 для крупных и масштаба 1:5000 – 1:1000 для небольших и сложных месторождений. Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Изучение рудовмещающих структурно-вещественных комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляются с поверхности канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами.

Изучение на глубину осуществляется преимущественно буровыми скважинами до горизонтов, обеспечивающих вскрытие рудоносных структурно-вещественных комплексов, а при глубоком их залегании — до горизонтов, экономически целесообразных для разработки с использованием современных технологий освоения месторождений. При высокой степени изменчивости полезной минерализации или при сильно расчлененном рельефе для изучения объекта на глубину возможно применение подземных горных выработок.

Все вскрытые в естественных и искусственных обнажениях выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты. В необходимых объемах проводится контроль качества отбора и обработки проб и их анализов.

Технологические свойства полезного ископаемого изучаются по лабораторным технологическим пробам, в скважинах и горных выработках проводится комплекс гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения.

В результате оценочных работ степень геологической изученности месторождения, качества, вещественного состава и технологических свойств полезных ископаемых, а также горно-геологических условий эксплуатации должна обеспечить предварительную оценку промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов категории C_2 .

Обязательной частью комплекса работ является геолого-экономическая оценка месторождений.

Показателем результативности оценочных работ является предварительная оценка промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории C_2 . По менее детально изученной части месторождения оцениваются ресурсы категории P_1 с указанием границ их распространения. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии рудных тел подтверждается на участках детализации с подсчетом запасов категории C_1 . При этом оцениваются: построенная принципиальная прогнозно-геологическая модель месторождения; обоснованность выбранных плотности сети и технических средств бурения, методика оконтуривания и подсчета резервов и запасов; планируемые технология обогащения руд, способы и системы отработки месторождения.

В результате оценочных работ должны быть достигнуты следующие цели:

- увязаны рудные подсечения и оконтурены тела полезных ископаемых по бортовому содержанию основных полезных компонентов, принятому с учетом геолого-экономических условий района проведения работ;
- определена морфология, размеры и условия залегания тел полезных ископаемых;
- изучены минералого-геохимические и текстурно-структурные особенности руд;
- расшифровано (в первом приближении) внутреннее строение рудных тел — границы природных типов руд, включая окисленные; распределение содержаний основных полезных компонентов;
- детализирована комплексная прогнозно-геологическая модель месторождения для использования

при разбурковке перспективных участков, а также геофизических и геохимических аномалий рудной природы;

- определены принципиальная схема переработки руд и основные технологические показатели;
- обоснована плотность сети; выбраны технические средства разведки и методика оконтуривания и подсчета запасов;
- обоснованы планируемые способы и системы разработки месторождения.

Таким образом, оценка результатов поисковых работ проводится на каждой стадии геологоразведочных работ после их завершения. Основными оценочными показателями поисков является получение достоверных результатов, определенных задачами работ каждой стадии и суммированных в итоговых картографических и текстовых материалах, а также соответствующих детальности проведенных работ категорий прогнозных ресурсов и запасов полезных ископаемых, обоснованность подготовки выделенных перспективных площадей и объектов для постановки последующих стадий работ.

При этом основные требования к эффективности и качеству работ должны базироваться на следующих положениях:

- реализация работ каждой стадии обеспечивает выявление объектов — потенциальных рудных полей, месторождений или рудных тел и эквивалентных им ресурсов и запасов;
- объект работ стадии устанавливается на основе выявления ряда обязательных геологических, геохимических и геофизических факторов, которые находят отражение в конечных результатах работ (картах, разрезах и т. п.);
- набор видов и методов работ и их объемы определяются необходимостью установления основных факторов (критериев и признаков) и разработки конечных итоговых документов;
- переход к последующей стадии допустим лишь при полном достижении результатов предшествующей стадии, которые находят отражение в изученности (подготовленности) площадей, намечаемых для постановки работ.

Список литературы

1. Кривцов А.И. Прикладная металлогения. М.: Недра, 1989.
2. Методика поисков золоторудных месторождений / Под ред. М.М. Константинова и В.А. Нарсеева. М.: ЦНИГРИ, 1990.
3. Методические основы прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений / Д.И. Горжевский, Н.К. Курбанов, Е.И. Филатов, Г.В. Ручкин. М.: Недра, 1987.
4. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). Министерство природных ресурсов РФ — ВИЭМС, 1999.
5. Смирнов В.И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1957. 588 с.

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1. Месторождения полезных ископаемых как объекты разведки

Объектом геологоразведочных работ являются промышленные месторождения. К числу *промышленных месторождений* относятся такие скопления полезных ископаемых, которые по качеству и количеству содержащегося в них минерального сырья технически возможно и экономически целесообразно разрабатывать на данном уровне развития производительных сил.

Главнейшая задача разведки как раз и заключается в выявлении промышленных месторождений, оценке и определении возможностей наиболее целесообразного их использования.

Из множества особенностей, характеризующих месторождения, из широкого круга присущих им свойств и качеств, для целей разведки, особенно на ранних этапах, наибольшее значение имеют форма тел, структура месторождения, изменчивость залежей и объекта в целом.

Формы тел полезных ископаемых

Телом, или залежью, полезного ископаемого называется локальное скопление природного минерального сырья, морфология которого определяется приуроченностью к конкретным геологическим структурам или их сочетаниям.

Тела полезных ископаемых разнообразны по форме: они бывают плоскими, изометричными, вытянутыми по одной оси. В организации разведочного процесса форма тел играет существенную роль. В общем случае все разнообразие форм тел полезных ископаемых может быть сведено к следующим основным типам.

Плоские тела полезных ископаемых представлены пластами, пластоподобными, жильными и некоторыми линзовидными залежами.

Пласты представляют собой тела, ограниченные двумя параллельными поверхностями напластования (подошва и кровля), имеющие мощность на несколько порядков меньшую размеров по простиранию и падению. Пластовые залежи отличаются устойчивой морфологией, выдержанностью, как правило, относительно однородным составом (рис. 3.1.1). Они наиболее типичны для рудных и нерудных месторождений осадочного генезиса. Положение пластовых залежей определяется элементами слоистости пород, они обладают обычно четкими природными границами, относительно простым, непрерывным или слабопрерывистым внутренним строением (рис. 3.1.2). Нередко пласты

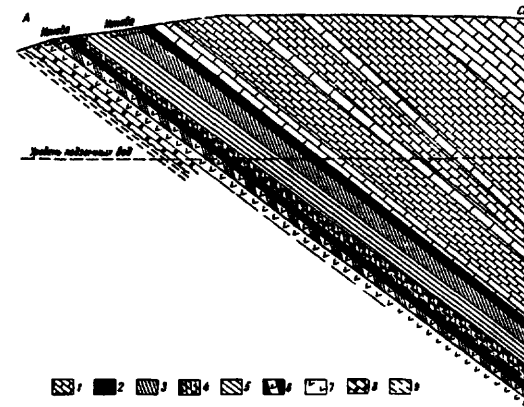


Рис. 3.1.1. Геологический разрез месторождения фосфоритов:
1 — известняки; 2 — фосфорит; 3 — фосфорит среднего качества; 4 — фосфорит, переслаивающийся со сланцами; 5 — фосфато-кремнистые сланцы; 6 — фосфорит окремненный; 7 — кремни; 8 — доломиты; 9 — окремненные породы

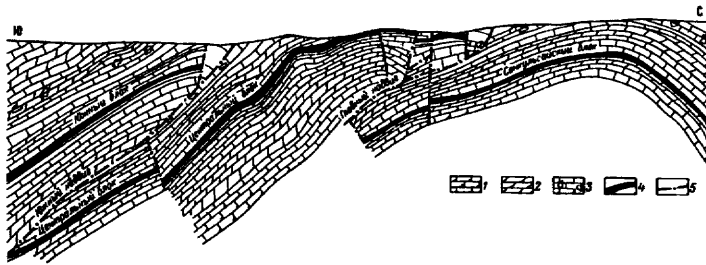


Рис. 3.1.2. Схематический разрез Миргалимсайского месторождения (по материалам Миргалимсайской ГРП):
1 — известняки, 2 — голомиты; 3 — брекчированные известняки; 4 — рудные тела; 5 — тектонические нарушения

полезного ископаемого разделяются вмещающими безрудными породами на пачки и отдельные слои. Таким образом, можно различать простые пласты (без прослоев породы) и сложные (с прослоями). В ряде случаев выделяются продуктивные толщи, состоящие из серии пластов полезных ископаемых (рис. 3.1.3). Пласты полезных ископаемых залегают согласно с вмещающими породами, вместе с ними они могут быть смяты в складки, разбиты разрывными нарушениями. Пластовые тела некоторых месторождений характеризуются изменчивой мощностью, что может быть связано, например, с явлениями карстообразования при их формировании (рис. 3.1.4).

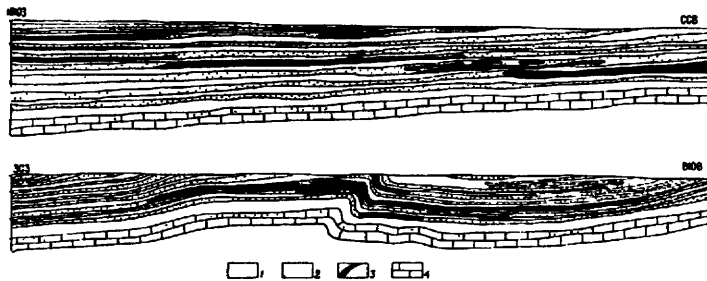


Рис. 3.1.3. Схематические геологические разрезы Джекказганского месторождения (по материалам Джекказганской ГРЭ):

1 — красноцветные песчаники и алевролиты; 2 — рудоносные слои, 3 — рудные залежи; 4 — известняки, песчаники, мергели

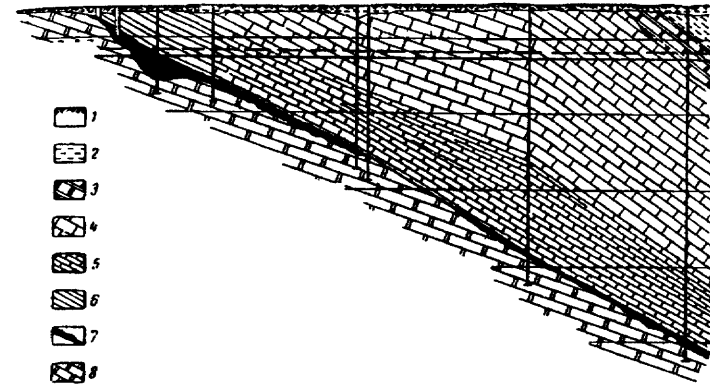


Рис. 3.1.4. Геологический разрез участка месторождения бокситов:

1 — растительный слой; 2 — глины; 3 — известняки плитняковые, 4 — известняки светло-серые; 5 — известняки темно-серые; 6 — глинистые сланцы; 7 — рудный горизонт, бокситы; 8 — известняки сахаровидные

К числу пластовых месторождений относятся осадочные месторождения железа, марганца, алюминия, углей, горючих сланцев, фосфоритов, солей и других, а также стратиформных месторождений меди, полиметаллов и другие.

Пластоподобные залежи характерны для некоторых магматических, контактово-метасоматических и других месторождений, рудные тела которых располагаются в расслоенных стратифицированных массивах (рис. 3.1.5) или приурочены к контактам силикатных и карбонатных пород и т. д. К ним могут быть отнесены также скарированные пластовые залежи (рис. 3.1.6). От пластовых залежей они отличаются меньшими протяженностью, выдержанностью, относительно более сложным строением.

К телам плоской формы относятся **плащеподобные залежи** месторождений, связанных с площадными и линейными корами выветривания. Месторождения залегают в приповерхностных условиях практически горизонтально. Рудные залежи характеризуются сильной изменчивостью контуров, прерывистостью, резкими колебаниями мощностей, отчетливо выраженной

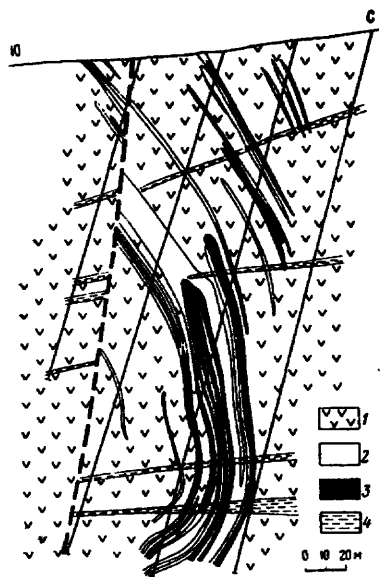


Рис. 3.1.5. Геологический разрез участка Ревдинского месторождения (по А. Шарыпову):

1 — гуниты и апогунитовые серпентиниты; 2 — гуниты с повышенной вкрапленностью хромшпинелидов; 3 — хромитовая руда; 4 — тальк-карбонатные породы

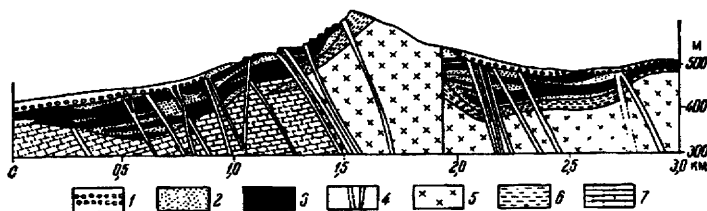


Рис. 3.1.6. Пластообразная залежь рудоносных скарнов горы Магнитной (по А. Заварицкому):

1 — дельтовий с рудными валунами; 2 — скарны; 3 — рудные участки скарна; 4 — жилы кварца и порфира; 5 — порфириты; 6 — контактово-метаморфизованные туфы; 7 — известняки

вертикальной зональностью (рис. 3.1.7). Типичными представителями этой группы могут служить месторождения силикатного никеля, а также бокситов, каолинов и др.

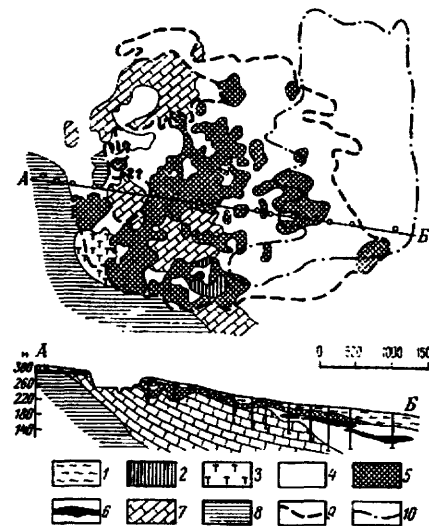


Рис. 3.1.7. Схематическая геологическая карта и разрез Аккермановского месторождения железных руд коры выветривания (по Г. Киселеву):

1 — суглинки; 2 — щебенчато-галечные переотложенные железные руды; 3 — глины песчаные, нередко с гипсом; 4 — глины, ожеженные пески, галечники; 5 — бурожелезняковые руды (верхний горизонт); 6 — сидеритоглинистые руды (нижний горизонт); 7 — известняки; 8 — кремнистые сланцы; 9 — контур бурожелезняковых руд (верхний горизонт); 10 — контур сидеритовых руд (нижний горизонт)

Определенным своеобразием отличаются залежи россыпных месторождений. Современные россыпи представлены горизонтально залегающими поверхностными образованиями, продуктивная часть которых — «пески» — подстилается «плотиком» (преимущественно коренными породами) и имеет с ним резкие природные границы. Рыхлые образования, перекрывающие продуктивную часть россыпи, русскими старателями названы «торфами» (рис. 3.1.8). Ширина и мощность россыпи устанавливаются по заданной величине содержания полезного компонента в процессе опробования. Погребенные россыпи обычно перекрыты мощным чехлом отложений и часто имеют наклонное залегание. Им свойственны вытянутая в плане форма и иногда

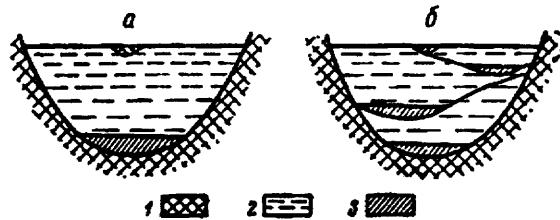


Рис. 3.1.8. Схематический поперечный разрез простой (а) и сложной (б) россыпи (по Ю.А. Билибину):
1 — коренной плотик; 2 — торфы; 3 — пески

сложное строение, обусловленное разделением пласта песков ложными плотиками на отдельные прослои, наличием струй, гнезд и др. Основные особенности морфологии и внутреннего строения россыпей определяются генетическим типом и условиями образования. Известны прибрежно-морские россыпи ильменита, рутила, монацита, пляжевые — золота, рутила, монацита, аллювиальные — золота, алмазов, касситерита, платины и др.

К типу плоских тел относятся также **жильные** тела, представляющие собой трещины в горных породах, выполненные минеральным веществом полезного ископаемого. По структурно-морфологическим особенностям выделяются простые, сложные жилы (рис. 3.1.9).

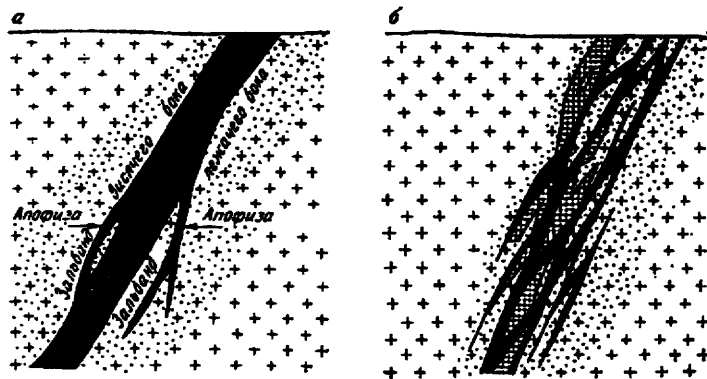


Рис. 3.1.9. Жилы (по В. Смирнову):
а — простая; б — сложная. Точками покрыта площадь измененных околожильных вмещающих пород

Простые жилы характеризуются большой протяженностью, крупными размерами, выдержанной мощностью. Сложные жилы отличаются меньшими размерами, невыдержанной мощностью, наличием раздувов, пережимов, многочисленных апофиз. Относительно крупные жилы часто образуют так называемые жильные зоны, жильные свиты и поля (рис. 3.1.10). Мелкие жилы иногда образуют сложные сочетания искривленных тел, пучков и других форм, приближающихся по характеру строения к штокверкам, которые благодаря высокой концентрации мелких жил могут разведываться единой системой горных выработок или скважин (рис. 3.1.11).



Рис. 3.1.10. Жильное поле медного месторождения Бьютт в США (по Э. Перри):

1 — речные отложения; 2 — базальтовые и риолитовые;
3 — риолит; 4 — кварцевый монзонит; 5 — рудные жилы

Жилам обычно свойственны резкие контакты с вмещающими породами; в то же время нередко наблюдаются изменения и минерализация прилегающих к жиле боковых пород, которые благодаря этому могут представлять промышленный интерес. В ряде случаев наблюдается сложное внутреннее строение жил, чередование обогащенных и бедных участков. Обогащенные участки — рудные столбы — выражены либо зонами повышенных концентраций полезных компонентов, либо раздувами жил.

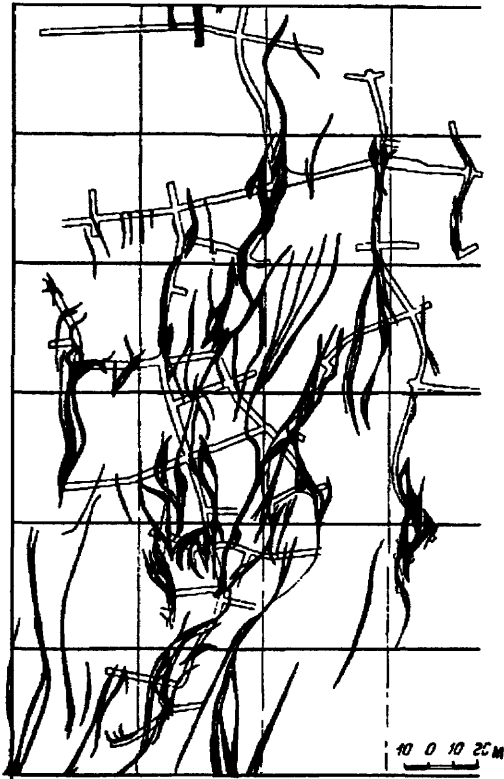


Рис. 3.1.11. Участок месторождения с криволинейными жилами (по В. Смирнову)

Размеры и условия залегания жил определяются направлением простирания и протяженностью, углом падения и длиной по падению, склонением и мощностью.

Примерами промышленных жильных месторождений могут служить месторождения золота, олова, вольфрама, барита, флюорита и др.

Линзовидные залежи по морфологическим особенностям принадлежат к переходным образованиям между изометричными и плоскими телами. Уплощенные, вытянутые линзы некоторых гидротермально-осадочных месторождений приближаются по форме к пластообразным залежам (рис. 3.1.12). В то же время

рудные тела подобных месторождений, формировавшиеся в условиях локальных глубоких депрессий, характеризуются большой мощностью, соизмеримой с размерами по простиранию, и изометричной формой (рис. 3.1.13).

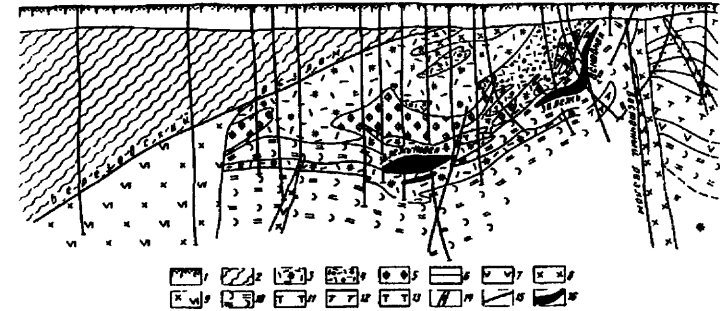


Рис. 3.1.12. Поперечный геологический разрез Орловского месторождения (по А. Гинапулину)

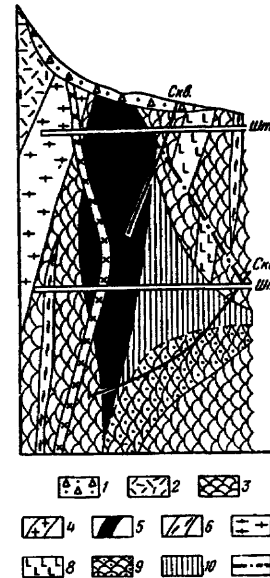


Рис. 3.1.13. Линзовидное тело. Главная залежь Худесского месторождения, Кавказ (по Н. Скрипченко):
 1 — наносы; 2 — конгломератобрекчии; 3 — погущенные лавы, 4 — диоритовые порфиристы; 5 — массивные колчеданные руды; 6 — яшмоиды, 7 — кварцевые порфиристы; 8 — диабазовые порфиристы; 9 — пиритизированные погущенные лавы, 10 — пиритизированные окварцованные породы; 11 — разлом

Изометричные тела полезных ископаемых представлены штоками, штокверками, гнездами.

Штоки представляют собой обычно относительно крупные (десятки метров в поперечнике) изометричные или почти изометричные залежи сплошных руд (рис. 3.1.14). Как правило, это руды гидротермально-метасоматической природы, формирующиеся в участках сложного пересечения мощных трещинных зон. Подобную форму имеют тела железных, медных руд некоторых скарновых месторождений. Форма штоков свойственна и телам каменной соли, слагающим ядра соляных куполов.

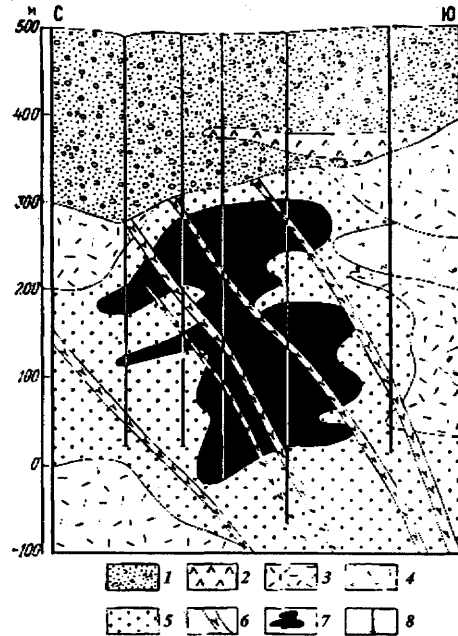


Рис. 3.1.14. Шток медной руды месторождения Цителсонсли (по В. Смирнову):

- 1 — четвертичные рыхлые отложения; 2 — четвертичная лава;
- 3 — верхнемеловые туфы; 4 — гипсованные туфы;
- 5 — вторичные кварциты; 6 — гайки кварцевых альбитофиров;
- 7 — рудное тело; 8 — буровые скважины

Штокверки — рудные тела, представляющие собой участки, в пределах которых горные породы пронизаны густой сетью разноориентированных рудных прожилков и насыщены вкрапленностью рудных и

жильных минералов (рис. 3.1.15). Такие участки часто (но не всегда) имеют изометричную форму.

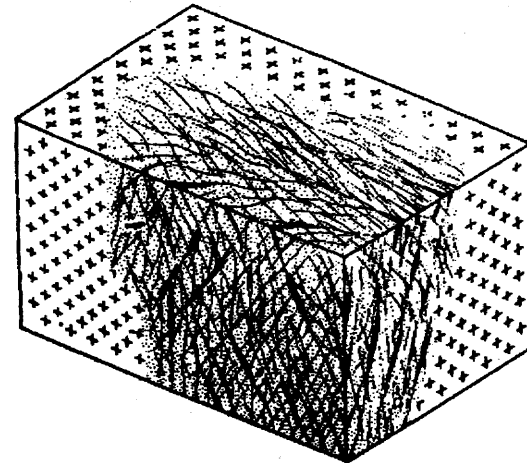


Рис. 3.1.15. Штокверк (по В. Смирнову)

Штокверковые рудные тела обычно характеризуются крупными размерами (сотни метров в поперечнике), нечеткими границами, в силу чего промышленные контуры проводятся только по результатам опробования. Штокверки имеют сложное внутреннее строение; содержания полезных компонентов в этих телах относительно невысокие (рис. 3.1.16).

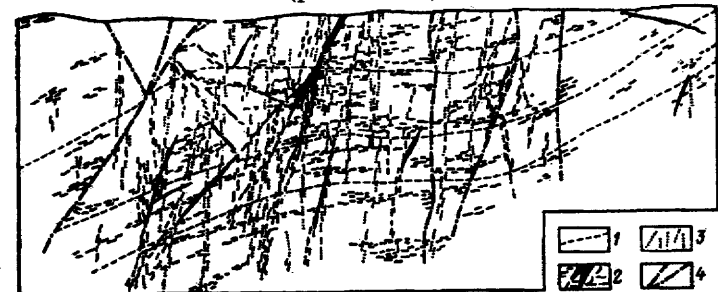


Рис. 3.1.16. Рудный штокверк Мурунтау (по С. Шеру):

- 1 — границы пачек с различными соотношениями филлитовидных сланцев и алевролитов; 2 — кварцевые жилы и прожилки; 3 — кварц-сульфидные прожилки;
- 4 — тектонические нарушения

Примером штокверков являются тела многих порфировых месторождений меди, молибдена, грейзеновых месторождений олова, вольфрама и др.

Гнездо представляет собой относительно небольшое скопление полезного ископаемого изометричной формы. Размеры гнезд в поперечнике до 1 м, редко более. Месторождения, характеризующиеся гнездовой формой локализации полезного ископаемого, обычно содержат многочисленные гнезда, размещение которых контролируется структурными, литологическими факторами или их сочетанием (рис. 3.1.17).

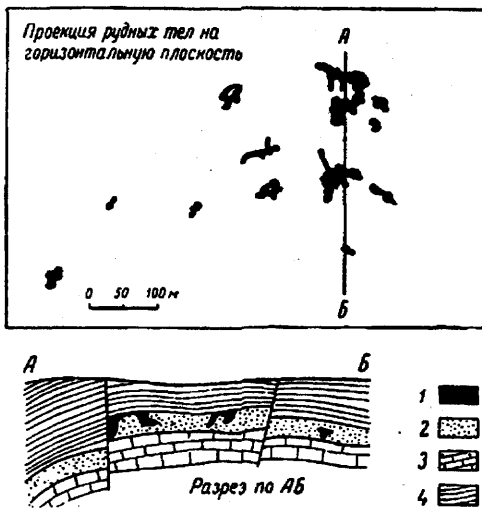


Рис. 3.1.17. Распределение гнезд киновари в пласте окварцованного известняка

Гнездовый характер имеют некоторые месторождения золота, ртути, хромитовых, свинцово-цинковых руд и др.

Вытянутые по одной оси тела называются трубами, столбами, трубообразными залежами.

Рудные тела этого типа залегают в коренных породах разнообразного состава, обычно несогласно, контролируются трещинными или эксплозивными структурами. Известны примеры трубообразных тел, приуроченных к карстовым полостям. Крупные трубообразные

тела (до нескольких сотен метров в поперечнике) характеризуются устойчивой морфологией, выдержанным залеганием, относительно простым внутренним строением (рис. 3.1.18). Мелким трубообразным телам свойственна неустойчивая форма, извилистое, иногда древовидное, ветвящееся строение (рис. 3.1.19). Контакты трубообразных тел обычно резкие. Условия залегания определяются азимутом и углами ныряния (скатывания).

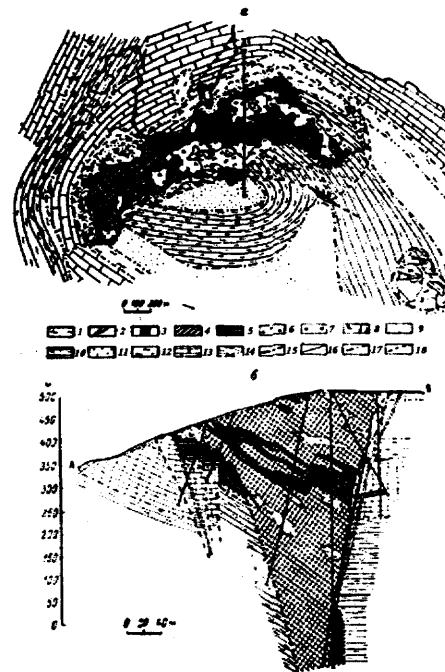


Рис. 3.1.18. Схематическая геологическая карта (а) и разрез (б) по линии III Коршуновского месторождения (по М. Иващенко и В. Карабельниковой):

- 1 — четвертичные отложения; 2–5 — магнетитовые руды:
- 2 — жильные, 3 — метасоматические, массивные,
- 4 — полосчатые, 5 — вкрапленные и брекчиевидные;
- 6 — околорудные метасоматиты; 7 — траппы; 8 — туфогенные породы;
- 9–14 — осадочные породы различных стратиграфических подразделений; 15 — эруптивный контакт — контуры трубок взрыва; 16 — диффузионный контакт; 17 — стратиграфический контакт; 18 — тектонические нарушения

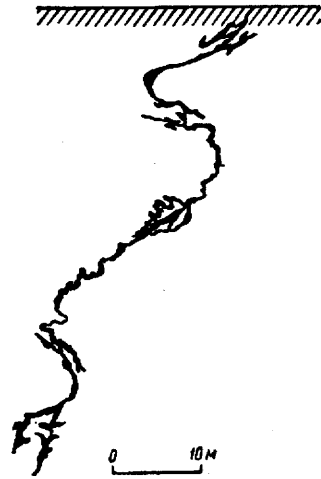


Рис. 3.1.19. Разрез тонкой трубы богатой полиметаллической руды (по В. Смирнову)

Трубообразную форму имеют рудные тела карбонатитовых, алмазных, некоторых полиметаллических и редкометалльных месторождений.

Форму рудных столбов имеют тела, локализованные в замковых частях складок (рис. 3.1.20) или приуроченные к пересечениям разрывных нарушений (рис. 3.1.21).

Кроме перечисленных типов нередко встречаются тела сложной формы, морфология которых определяется сочетанием простых, секущих и согласных форм (рис. 3.1.22, 3.1.23). Локализация и морфология таких тел обусловлена сложной комбинацией рудовмещающих структур.

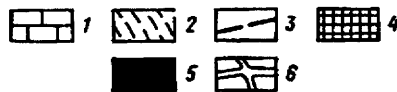
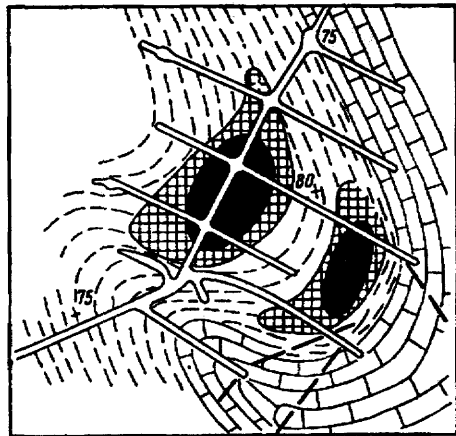


Рис. 3.1.20. Рудные столбы, приуроченные к крутошарнирным складкам; геологический план второго горизонта свинцово-цинкового месторождения Коксу в Казахстане (по А. Каюпову, П. Жукову): 1 — известняки; 2 — кварцевые песчаники, алевролиты, сланцы; 3 — разрывные нарушения; 4 — рудные тела; 5 — рудные столбы; 6 — горные выработки

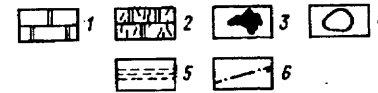
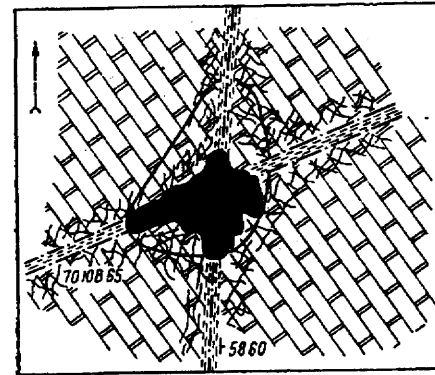


Рис. 3.1.21. Рудный столб на пересечении трещин. Свинцово-цинковое месторождение Екатерино-Благодатское в Забайкалье (по К. Кузнецову):

1 — белые мраморовидные известняки; 2 — трещиноватые известняки; 3 — раздув руд, образовавшийся в участке пересечения серии рудоносных трещин с пластами известняков; 4 — предполагаемые контуры рудного тела (контуры обрушения); 5 — тектоническая глина; 6 — трещины скола

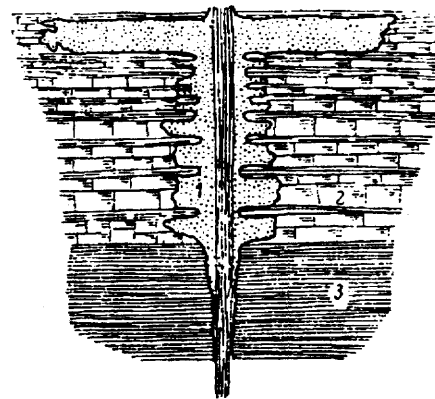


Рис. 3.1.22. Поперечный разрез рудного тела сложной формы (1), образовавшегося вдоль системы тонких трещин в перемежающихся слоях доломита (2) и сланца (3). Портландг. Ю. Дакота (по Ирвингу)

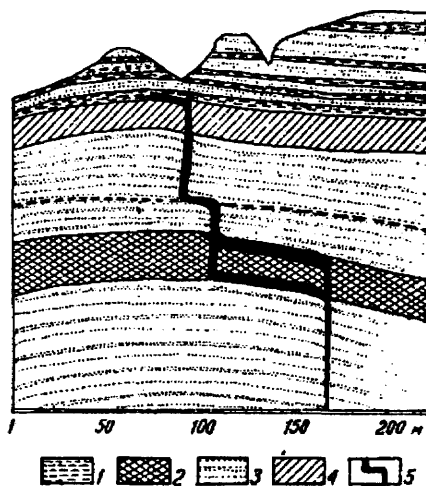


Рис. 3.1.23. Разрез сложного рудного тела в Оурей, Колорадо (по Сперру):
1 — сланец;
2 — брекчия;
3 — песчаник;
4 — кварцит;
5 — рудная жила

Структуры месторождений

Особенности локализации месторождений и тел полезных ископаемых, оказывающие существенное влияние на методику разведки, определяются геологическими структурами.

Структура месторождения — это пространственное расположение рудных тел и вмещающих пород, морфология рудных тел, их внутреннее строение и взаимоотношение с вмещающими породами, являющиеся результатом сложных взаимодействий процессов образования пород, руд, проявления тектонических движений. Тела горных пород и руд, называемые структурными формами, подразделяются на первичные (пласт, лавовый поток, интрузивный массив, дайка и др.) и вторичные (складки, трещины, надвиги, сбросы и др.).

Геологические структуры, определяющие все основные особенности внутреннего строения месторождения и его облик, формируются в течение длительного времени. Они закладываются до образования залежей, развиваются параллельно с процессами рудообразования, проявляются после формирования рудных тел. Вследствие этого можно выделить три этапа развития

структур месторождений: дорудный, внутрирудный и послерудный и соответствующие этим этапам элементы структуры.

В процессе формирования эндогенных месторождений решающая роль принадлежит дорудным структурам, среди которых выделяются рудоподводящие, рудораспределяющие и рудовмещающие элементы (рис. 3.1.24). К числу рудоподводящих относятся структуры, которые могли служить каналами поступления рудоносных расплавов или растворов в пределы рудного поля. Обычно в этом качестве выступают крупные разломы или зоны повышенной проницаемости. Сами рудоподводящие каналы обычно не вмещают рудных тел, но контролируют размещение месторождений и рудных полей; в этом состоит их важное поисковое значение. Рудораспределяющими называются элементы структуры, по которым рудоносные растворы от подводящих каналов отводились на участки рудоотложения. Рудораспределяющими, как правило, служат разрывы, сопрягающиеся с главным рудоподводящим каналом, пересекаемые им проницаемые пласты и т. д. Следует отметить, что выделение рудоподводящих и рудораспределяющих структур очень часто невозможно из-за недостаточной изученности и почти всегда гипотетично, поскольку зависит от господствующих в данное время концепций рудообразования. Рудовмещающими являются структуры, непосредственно вмещающие рудные тела, определяющие их положение, морфологию, размеры, внутреннее строение. Они играют важную роль при поисках и разведке месторождений. Среди них (по В. Смирнову, 1989) выделяются шесть групп, каждая из которых включает несколько типов: 1) согласные структуры слоистых толщ (шарниры складок, флексуры, зоны межпластовых срывов и дробления и др.); 2) секущие структуры крупных разломов (надвиги, сбросы и сдвиги); 3) секущие структуры тектонических трещин (трещины отрыва, скола, оперения, зоны трещиноватости, рассланцевания и т. д.); 4) плутогенные структуры (магматическое расслоение, последовательные инъекции, контракционные трещины, контакты согласных или секущих интрузий); 5) вулканогенные структуры (вулканические

жерла, кальдеры, трубки взрыва, кольцевые трещины и т. д.); 6) комбинированные структуры (пересечения трещин и пластов).

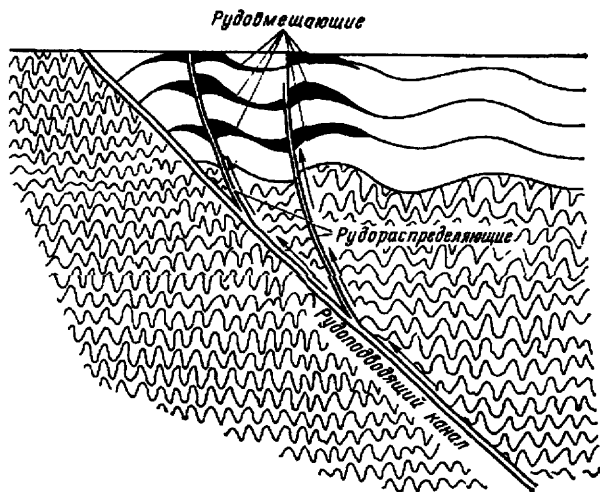


Рис. 3.1.24. Схема циркуляции рудоносных растворов по системе рудоподводящих, рудораспределяющих и рудовмещающих структур (по В. Смирнову)

Правильное понимание характера связей рудных тел с важнейшими элементами структуры позволяет использовать их при прослеживании и оконтуривании залежей, при увязке разрезов по соседним пересечениям. Характеризуя структурные особенности месторождений, А. Каждан (1974) отмечал, что среди дорудных рудоконтролирующих структур наиболее выдержанными являются слоистость и контактовые поверхности вмещающих оруденение пород. Наличие этих элементов рудоконтроля существенно облегчает и упрощает проведение разведки. По характеру связи оруденения с элементами геологического строения он предложил выделять четыре типа тел: 1) залегающие согласно или почти согласно с элементами слоистости вмещающих пород; 2) залегающие параллельно контактовым поверхностям между различными породами; 3) залегающие несогласно с напластованием вмещающих пород, или в неслоистых толщах, но контролируемые вы-

держанными и легкокартируемыми элементами геологического строения; 4) залегающие в неслоистых породах, контролируемые невыдержанными и сложными элементами структуры, с трудом поддающимися расшифровке.

Изменчивость тел полезных ископаемых

Одним из характернейших свойств залежей полезных ископаемых является их изменчивость. Форма и размеры, характер залегания, минеральный и химический составы, текстурно-структурные особенности, объемная масса и многие другие параметры изменяются в разных частях одной и той же залежи. Выяснение природной неоднородности тел полезных ископаемых является одной из важнейших задач разведки.

Неоднородность рудных тел и вмещающих пород возникает в процессе их формирования и впоследствии может существенно изменяться в результате преобразований под влиянием процессов диагенеза, эпигенеза, метаморфизма, тектонических деформаций и др.

При характеристике изменчивости различают две ее стороны: характер изменчивости и ее интенсивность. Под характером изменчивости понимается ее направленность, закономерность или случайность. Степень изменчивости определяется размахом колебаний анализируемых величин (содержаний различных компонентов, мощности тел и т. д.).

На основе количественных характеристик изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых (в первую очередь содержания полезных компонентов, мощности рудного тела, объемной массы и др.) решаются все методические вопросы разведки, опробования, оконтуривания и геолого-экономической оценки разведанных запасов.

Геологическая неоднородность, выявляемая по дискретной сети наблюдений, проявляется как совокупность случайной и неслучайной пространственной изменчивости данного свойства.

Известны многочисленные примеры закономерных изменений различных геологических параметров зале-

жей. В основном это пространственные закономерности, например, постепенное уменьшение мощности линзообразных рудных тел, вертикальная и горизонтальная зональность в изменении вещественного состава их, зональный состав рудных тел по мощности, фациальная зональность месторождений осадочного происхождения и др. Многочисленны случаи взаимной закономерной связи изменчивости двух или нескольких признаков.

При случайной изменчивости изучаемого признака его значения в смежных точках не зависят друг от друга и от расстояний между точками. Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована различными методами. Случайная изменчивость оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок.

При разведке наиболее важна закономерная изменчивость, которая позволяет оценить характер анизотропии рудного тела 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.

По Л. Четверикову (1980), анизотропия тел полезных ископаемых проявляется в том, что неслучайная изменчивость изучаемого свойства оказывается различной в разных направлениях; обычно максимальная изменчивость наблюдается по направлению мощности залежей, а минимальная — по их вытянутости.

Одним из показателей степени анизотропии может служить величина:

$$A_0 = \frac{J_{\max}}{J_{\min}},$$

представляющая отношение «длин» большой оси (J_{\max}) и малой оси (J_{\min}) анизотропии, выраженных в условных единицах. Каждая из осей определяется как отношение среднего числа элементов неоднородности N , пересекаемых линиями, проведенными в заданном

направлении, к средним длинам этих линий \bar{l} в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $J = \frac{N}{\bar{l}}$.

В общем случае выделяются три главных направления анизотропии, которые часто совпадают с направлениями мощности, падения и простираения. По этим направлениям наблюдаются наиболее значительные различия количественных характеристик неслучайной изменчивости изучаемых свойств.

В соответствии с основными морфологическими типами тел полезных ископаемых можно выделить три типа анизотропии.

К первому относятся тела, имеющие три взаимно ортогональных оси анизотропии. Это пласты, жилы, лентообразные, линзообразные тела, у которых ось максимальной изменчивости совпадает с направлением мощности, а ось минимальной изменчивости — с направлением простираения.

Ко второму типу относятся тела, имеющие две оси анизотропии. В этом типе выделяется два подтипа: а) тела трубообразной формы; б) сплюснутые, линзообразные тела, изометричные в плане. В обоих подтипах всегда можно видеть круговое сечение, перпендикулярное либо длинной (у труб), либо самой короткой (линзы) оси залежи. Плоскость кругового сечения образуется одним из направлений анизотропии. Другое направление совпадает с осью трубы или линзы. В сплюснутых телах — это направление максимальной изменчивости (мощность); в вытянутых трубообразных телах это ось минимальной изменчивости.

К третьему типу относятся тела, имеющие одну ось анизотропии, точнее, тела практически изотропные, в которых изменчивость в разных направлениях почти одинакова. Это изометричные штокверки, тела штокообразной формы с концентрически-зональным строением.

Анизотропия свойств природных объектов (месторождений, рудных залежей) может быть неодинаковой на разных уровнях. Так, например, анизотропия строения рудной зоны может не совпадать с анизотропией входящих в ее состав и различно ориентированных

рудных тел. А поскольку характеристики анизотропии являются основой для выбора рациональной геометрии разведочной сети, то нередко возникают ситуации, когда переход на более детальный уровень разведки требует изменения ориентировки разведочной сети (см. раздел 3.5).

Статистические методы изучения изменчивости месторождений. В качестве количественной характеристики признака (мощности, содержаний компонентов и т. д.) при разведке и подсчетах запасов принято использовать среднеарифметическую величину этого признака (например, содержания полезного компонента):

$$C = \frac{\sum ci}{n},$$

где ci — содержание полезного компонента в i -й пробе; n — количество проб.

Мерой степени изменчивости этого признака в статистике принято среднеквадратичное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (ci - c)^2}{n - 1}}.$$

Для сравнения степени изменчивости залежи по различным признакам в разведочной практике широко используется коэффициент вариации V , который показывает отношение степени изменчивости исследуемого признака \bar{c} к среднеарифметическому его значению \bar{c} , выраженное в процентах:

$$V = \frac{S}{\bar{c}} 100 \%.$$

Важной статистической характеристикой является абсолютная величина ошибки вывода среднеарифметического значения признака по данным n наблюдений:

$$\delta = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

214 Коэффициент вариации широко применяется в разведочном деле: 1) как показатель степени изменчи-

вости содержаний полезных компонентов при отнесении месторождений к той или иной группе; 2) в качестве основы для определения необходимого числа проб (наблюдений) при оценке средней величины исследуемого признака (содержания, мощности). Зная V , можно определить относительную величину погрешности

$$\text{среднего: } P = \frac{Vt}{\sqrt{n}};$$

3) для грубого определения расстояний между пробами (см. раздел «Опробование»).

Основные свойства коэффициента вариации сводятся к следующему: 1) он не учитывает расположения проб в пространстве, эта абстрактная характеристика отражает степень изменчивости, но не ее характер. Представления о характере изменчивости дают соответствующие графики; 2) величина коэффициента вариации зависит от размера проб и способа их отбора: чем больше объем и масса проб, тем ниже коэффициент вариации; 3) он зависит от ориентировки линии отбора проб (относительно осей анизотропии), кроме того, значения его различны для разных участков месторождения. Таким образом, отношения величин коэффициентов вариации по линиям отбора проб, совпадающим с направлениями максимальной и минимальной изменчивости, соответствуют в известной степени показателям анизотропии. Эти отношения могут учитываться при определении геометрии разведочной сети.

Изучение закономерностей изменчивости содержаний полезных компонентов по данным опробования разведочных пересечений, разрезов осложняется тем, что на эту закономерную изменчивость накладывается случайная изменчивость. Поэтому для выявления локальной изменчивости в чистом виде из эмпирического ряда наблюдений исключается случайная изменчивость. Это достигается построением кривых регрессии методом сглаживания. Кривые регрессии строятся способом «скользящего окна» — т. е. локальным усреднением единичных характеристики признака.

5) Составление кривых регрессий методом скользящего окна по определенным сечениям тела полезного

ископаемого оказывает помощь в выявлении скрытых локальных закономерных кондиций в изменчивости признаков. Обобщение на основе геологического анализа данных, обработанных таким образом по ряду сечений, позволяет геометризовать исследуемые свойства в пространстве в виде топографических поверхностей и выявить не только степени, но и характер изменчивости.

Величина среднеквадратического отклонения S и коэффициента вариации V , вычисленные по исходным данным и с использованием величины отклонения от кривой регрессии, различны. Сглаживание приводит к уменьшению этих величин.

Вмещающие породы

Являются необходимым объектом исследований в процессе разведки. Их роль и значение в разведке и оценке месторождений определяются несколькими обстоятельствами.

Породы, среди которых размещаются залежи полезных ископаемых, могут находиться с ними в разных генетических и возрастных отношениях. В месторождениях осадочного происхождения залежи минерального сырья представляют собой пласты пород, являющихся равноправными членами слоистого разреза; их возраст определяется позицией в разрезе (они моложе подстилающих слоев и древнее перекрывающих). В генетическом отношении залежи представляют собой единое целое с вмещающими породами, из которых выделяются лишь некоторыми особенностями (повышенным содержанием какого-либо компонента, или группы компонентов, физическими свойствами и т. д.), возникающими обычно вследствие изменения фациальных условий образования пород.

В некоторых типах месторождений вмещающие породы с телами полезных ископаемых связаны более тесными отношениями, характеризуются общностью происхождения. Так, рудные тела расслоенных интрузивных массивов образуются вместе с вмещающими их породами в результате одних и тех же процессов магматической дифференциации. В ряде случаев вме-

щающие породы выступают в качестве материнских образований при формировании рудных тел (например, в месторождениях кор выветривания).

Локализация эпигенетических месторождений нередко определяется тем, что вмещающие породы характеризуются определенными свойствами, делающими их благоприятными для размещения в них рудных тел. В одних случаях это особенности химического состава, предопределяющие возможность метасоматического замещения пород рудным веществом; в других — специфические физико-механические свойства, способствующие развитию рудокализирующих трещинных структур.

Второй аспект изучения вмещающих пород связан с выяснением структуры месторождения, которая определяется, в частности, взаимоотношением всех разновидностей пород, слагающих участок месторождения. Согласное напластование, рвущие контакты, складчатые и разрывные нарушения — все эти элементы, проявленные во вмещающих породах, являются элементами структуры месторождения.

Окружающие рудные тела породы на контакте с эпигенетическими рудными телами нередко характеризуются изменениями, возникшими при процессах образования тел полезных ископаемых. Эти измененные породы часто служат хорошим поисковым признаком, а иногда благодаря развитию в них рудной вкрапленности сами могут являться полезным ископаемым.

Кроме этого, вмещающие породы в некоторых случаях могут представлять интерес как объекты попутной добычи. Например, при открытой разработке месторождений породы-вскрыши могут быть использованы в качестве строительных материалов и др.

Наконец, особенности состава и строения вмещающих пород оказывают существенное влияние на процесс разведки и разработки месторождений. Прочностные характеристики пород, трещиноватость, устойчивость, обводненность и другие часто являются определяющими при выборе технических средств разведки и систем разработки месторождений и поэтому подлежат всестороннему изучению наряду с изучением самих залежей полезных ископаемых.

3.2. Задачи разведки и стадии разведочных работ

Разведка месторождений полезных ископаемых — это комплекс исследований и работ по выяснению промышленного значения месторождения. Разведочные работы на месторождении производятся прежде всего для определения количества и качества заключенного в нем полезного ископаемого, а также для выяснения природных условий залегания минерального сырья и экономических условий, в которых находится месторождение. Таким образом, разведочные работы преследуют цель промышленной оценки месторождений и получения геологических материалов, необходимых для составления проекта их эксплуатации и самой эксплуатации.

Главнейшие задачи, решаемые в процессе разведки, сводятся к следующему.

1. Определение формы и размера промышленной части месторождения для оценки количества полезного ископаемого. Геометризация тел полезных ископаемых в недрах производится на основе изучения геологического строения участка месторождения, его структурных особенностей, условий локализации тел, их взаимоотношений с вмещающими породами. Изучение формы месторождений в ряде случаев осложняется отсутствием естественных геологических границ, отделяющих полезное ископаемое от вмещающих пород, необходимостью установления этих границ по данным опробования. Надежное определение размеров тел может быть произведено только с учетом закономерностей изменчивости их морфологии. Поэтому разведка предусматривает изучение месторождений во всем их объеме.

2. Установление качественно-технологической характеристики полезного ископаемого. Качество полезного ископаемого неотделимо от количества, поскольку в контуры промышленных участков включаются лишь те части месторождения, которые отвечают промышленным требованиям; иными словами, форма залежей в известной степени определяется их качеством. Многие типы месторождений характеризуются присутствием нескольких различных типов полезных ископаемых (например, окисленные, сульфидные, смешанные руды) и сортов руд (различающихся по уровню содер-

жания полезных компонентов, присутствию ценных или вредных примесей).

Задачей разведки является характеристика всех природных разновидностей руд на основе технических требований к сырью (кондиций) и изучение их пространственного размещения.

3. Выявление природных факторов, определяющих условия эксплуатации: характер залегания и мощность тел, глубину залегания и мощность вскрыши (если предусматривается открытая разработка), твердость и трещиноватость руд, состав и физико-механические свойства вмещающих пород, обводненность месторождения и другие факторы, имеющие значение при производстве добычных работ.

4. Определение соответствия всех параметров месторождения современным геолого-экономическим требованиям промышленности. С этой целью проводится анализ выявленных в процессе разведки геологических, горнотехнических, технологических и экополитических факторов, на основе которого определяется способ разработки месторождения, параметры будущего горнорудного предприятия, экономический эффект от разработки месторождения.

Разведочные работы обычно проводятся последовательно, в три стадии: предварительную, детальную, эксплуатационную.

Предварительная разведка

Следует за поисково-оценочной стадией и имеет целью получить достоверную информацию для надежной оценки промышленной значимости месторождения. На этой стадии определяется общая схема геологического строения месторождения, выполняется детальное геологическое картирование. В зависимости от сложности геологического строения геологические карты и разрезы составляются в масштабе от 1:10 000 до 1:500. Рудные тела с помощью канав, шурфов, картировочных скважин оконтуриваются с поверхности и отдельными горными выработками или профилями скважин пересекаются на глубине. Глубина предварительного изучения месторождения производится до горизонтов, до-

ступных для разработки. Изучением охватывается вся площадь месторождения для полной предварительной оценки его промышленной ценности и выбора наиболее важного участка для детальной разведки.

Проходка горных выработок и скважин, их опробование, проведение геофизических исследований имеют целью выяснить общие особенности морфологии рудных тел, условий их залегания, внутреннее строение и общую характеристику состава руд. Определяются минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов. По основным природным разновидностям руд отбирают технологические пробы для выделения промышленных типов и сортов руд. Определяются общие закономерности их пространственного размещения и количественные соотношения. Производится также изучение горно-геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических условий. Одной из задач предварительной разведки является разработка временных кондиций, на основе которых оцениваются запасы по категории C_2 . Данные предварительной разведки используются для составления проекта детальной разведки. По результатам предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), обосновывающий целесообразность детальной разведки месторождения или отказ от следующего этапа.

Детальная разведка

Проводится на объектах, получивших положительную оценку по результатам предварительной разведки и намеченных к промышленному освоению в ближайшие 5–10 лет. На этой стадии сгущается сеть разведочных выработок, уточняются контуры рудных тел, с выделением в них безрудных и некондиционных участков, разрабатываются технологические схемы переработки минерального сырья. Оценивается возможность использования попутных полезных ископаемых, в том числе пород вскрыши. Детальной разведке, особенно на крупных месторождениях, обычно подвергается только часть месторождения, достаточная для выявления запасов, необходимых для организации эксплуатационных работ. При этом исходят из произ-

водственной мощности будущего горного предприятия и нормального срока обеспечения его этими запасами. Данные детальной разведки должны обеспечивать геологическую часть проекта разработки месторождения. По результатам детальной разведки составляется горный доклад или технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных кондиций. На основе этих кондиций выполняется подсчет запасов (категории А, В, C_2), который представляется для утверждения в Государственную комиссию по запасам России (ГКЗ) или в территориальную комиссию по запасам (ТКЗ).

Таким образом, детальная разведка по существу является обоснованием проекта промышленной разработки месторождения.

Отдельные мелкие месторождения очень сложно строения нередко экономически нецелесообразно подвергать детальной разведке, требующей больших капиталовложений. В этих случаях после предварительной разведки и оценки месторождения детальную разведку совмещают с эксплуатационно-подготовительными работами, что значительно сокращает сроки освоения таких месторождений и затраты на их разведку.

Эксплуатационная разведка

Сопровождает разработку месторождения, уточняет детали геологического строения отдельных участков, необходимые для правильной эксплуатации. Кроме того, ее задачей является расширение сырьевой базы действующего предприятия путем развития фронта разведочных работ как на флангах, так и в глубинных частях месторождения.

Как вытекает из определений предварительной и детальной разведок, различие между ними заключается в детальности определения тех или иных показателей.

3.3. Технические средства разведки

Основной объем разведочной информации геологи получают, используя два вида технических средств — горные выработки и буровые скважины. Эти виды ха-

рактируются различной информативностью и различными экономическими показателями.

Буровые скважины проходятся в 2–3 раза быстрее горных выработок и более чем в 3–4 раза дешевле их, хотя общее сокращение времени и расходов на разведку бурением по сравнению с разведкой горными выработками не столь велико, т. к. объем буровых работ для разведки любого объекта, как правило, должен быть намного выше объема горных работ. Разведка бурением требует меньшей рабочей силы, энергии и оборудования. Однако по геологическим результатам, по степени информативности бурение уступает горным выработкам. Каждая буровая скважина представляет собой лишь тонкий прокол рудного тела, недоступный для осмотра. Горные же выработки дают более крупное пересечение, доступное для осмотра, геологической документации и опробования на месте. Они позволяют проводить повторные наблюдения, контрольное опробование. Кроме того, горные выработки обладают гибкостью, дающей возможность изменять их направление в зависимости от поведения рудного тела, что бывает необходимо при прослеживании тел сложной морфологии и прерывистых залежей. К этому надо добавить, что часть горно-разведочных выработок может быть использована при последующей эксплуатации, что частично окупает расходы на их проходку. Поэтому горные выработки применяются при разведке не менее часто, чем более дешевые буровые работы, особенно при изучении верхних частей рудных тел. В некоторых случаях при разведке сложных по форме, строению и распределению металлов месторождений, когда требуется тщательное и непрерывное прослеживание рудных тел, буровые скважины даже при существенном увеличении их количества не могут заменить горные выработки. Наконец, некоторые объекты, например месторождения пьезооптического сырья, вообще невозможно разведывать без применения горных выработок.

К числу технических средств разведки относят также и геофизические методы. В ряде случаев они служат необходимыми вспомогательными методами, сопровождающими проходку горных выработок и в особенности скважин. Результаты геофизических ра-

бот широко используются при проектировании буровых скважин и горных выработок, при интерпретации полученных данных, в первую очередь данных буровых работ. Геофизические методы служат основой прогнозных оценок глубоких горизонтов и флангов месторождений, не вскрытых горными выработками и скважинами. Точно так же на предварительных этапах разведки месторождений основные выводы о масштабах объекта, протяженности рудных тел на глубину, условиях их залегания базируются на результатах геофизических исследований.

Выбор технических средств для разведки каждого конкретного месторождения производится с учетом общэкономических, горнотехнических и геологических факторов.

Общэкономические условия включают пути сообщения, энергетическую базу, климат, обеспеченность водой, крепежным лесом и др. Влияние каждого из этих факторов достаточно очевидно, хотя и не является решающим.

Горнотехнические факторы определяются рельефом местности, глубиной залегания рудных тел, условиями их залегания, характером пород и водоносностью участка. Эти факторы в ряде случаев оказывают решающее влияние на выбор технических средств разведки. Расчлененный рельеф стимулирует использование штольневой системы; глубокое залегание тел делает более целесообразной разведку скважинами; характер вмещающих пород и гидрогеологическая обстановка определяют конкретную методику проведения и горных работ, и буровых.

Из числа **геологических условий**, определяющих выбор горных и буровых работ, важнейшую роль играют устойчивость формы рудных тел, устойчивость в распределении полезного компонента, размеры тел. Большая часть этих особенностей определяется принадлежностью изучаемого объекта к соответствующему геолого-промышленному типу.

Устойчивость формы рудных тел определяется выдержанностью их мощности или поперечного сечения на большом протяжении. Выделяются устойчивые по форме рудные тела, например пласты осадочных рудных

месторождений, мощность которых очень слабо и закономерно изменяется на расстояниях в сотни метров и даже в километры. С другой стороны, бывают неустойчивые по форме тела, например некоторые жилы гидротермального происхождения, иногда состоящие из тонкой слабоминерализованной рудоносной трещины со спорадическими раздувами (рудными столбами) на коротких интервалах. Разведка устойчивых по морфологии тел более проста и нередко может быть осуществлена одними скважинами, тогда как получение разведочных данных необходимой достоверности по телам сложной морфологии требует проходки горных выработок.

Устойчивость распределения полезного компонента в рудах определяется двумя показателями: степенью прерывистости кондиционных участков рудного тела и изменчивостью содержаний полезного компонента.

Степень прерывистости определяется коэффициентом рудоносности, под которым понимается отношение количества руды, сосредоточенной в рудных обособлениях, ко всему объему рудоносной зоны, в которой заключена эта руда.

Чем выше коэффициент рудоносности, тем меньше прерывистость оруденения, достигающая при коэффициенте, равном единице, непрерывного оруденения.

Интенсивность изменчивости содержаний полезного компонента оценивается коэффициентом вариации — чем выше коэффициент вариации, тем значительнее изменчивость, тем сложнее разведка и тем большее количество пересечения тела необходимо для надежной оценки качества минерального сырья.

С учетом двух указанных показателей можно выделить рудные тела: 1) с непрерывным оруденением и равномерным распределением металла; 2) с непрерывным оруденением и неравномерным распределением металла; 3) с прерывистым оруденением и равномерным распределением металла; 4) с прерывистым оруденением и неравномерным распределением металла. От первой к четвертой группе возрастает сложность строения рудных тел и необходимость большего числа пересечений и большего количества горных выработок для получения достоверных сведений о строении тел и качестве минерального сырья.

Размеры рудных тел также оказывают влияние на выбор технических средств разведки. Крупные тела вскрываются большим количеством пересечений, что практически исключает возможность существенных ошибок в определении размеров месторождения и качества руды. В этих случаях предпочтительнее разведка скважинами. Мелкие тела, в особенности характеризующиеся сложной формой, обычно разведываются горными выработками.

Исходя из анализа геологических условий, В. Смирновым было сформулировано следующее правило для выбора горных или буровых работ при разведке: чем сложнее и изменчивее форма рудного тела, чем меньше размеры его, ниже коэффициент рудоносности и выше степень неравномерности распределения металла в руде, тем большее значение приобретают горные и меньшее — буровые работы при разведке месторождений.

3.4. Принципы разведки

Несмотря на большое разнообразие месторождений полезных ископаемых, в основу разведки могут быть положены одни и те же принципы, поскольку геологоразведочный процесс осуществляется на определенном уровне развития производительных сил и имеет в конечном счете одну и ту же задачу: выявление в недрах промышленных запасов различных полезных ископаемых. Исходя из этого, В. Крейтер сформулировал четыре основных принципа разведки: 1) последовательных приближений; 2) полноты исследований; 3) равной достоверности (равномерности); 4) наименьших затрат средств и времени.

Принцип последовательных приближений

Утверждает необходимость постепенного наращивания знаний об изучаемом месторождении по этапам и стадиям. Практически каждая новая разведочная выработка дает тот или иной «прирост» наших знаний, который должен быть учтен при проектировании и проходке следующей выработки. Этот принцип неизбежен во всем геологоразведочном процессе.

Хотя работа всегда строится с максимальным ускорением, необходимо соблюдение этапов и стадий, что подтверждается всем огромным опытом разведок во все времена и в особенности в настоящее время. Вслед за поисковой стадией следуют, сменяя друг друга предварительная, детальная и эксплуатационная стадии разведочного этапа. Необоснованное форсирование событий, например, производство детальных исследований до полного завершения предварительной разведки, чаще всего с неизбежностью приводит к крупным просчетам и дополнительным затратам.

Число стадий не пропорционально числу рабочих сезонов: иногда все стадии разведки (кроме эксплуатационной) проходят в один сезон, а иногда даже одна предварительная разведка требует нескольких лет.

С принципом последовательных приближений тесно связан другой, практически самостоятельный принцип геологического прогноза и его проверки. Проектирование каждой разведочной выработки основывается на геологическом прогнозе, и ее проходка или подтверждает (уточняет) прогноз, или заставляет внести в него коррективы, или, наконец, требует перестройки выдвинутых представлений. Геологический прогноз и его проверка подтверждают необходимость следования принципу последовательных приближений.

Принцип полноты исследований

Требуется не только решения основных задач разведки (определение качества и количества минерального сырья), но и получения всех данных, всей полноты информации, необходимой для проектирования и строительства горнорудного предприятия и наиболее рационального использования сырья. Конкретные требования принципа полноты исследований выражаются в следующем.

1. Необходимо полное пересечение разведочными выработками рудного тела, рудоносной зоны на всю мощность. Это особенно важно в тех случаях, когда рудная зона включает несколько рудных тел и несоблюдение данного требования может привести к тому, что на текущем этапе будет пропущено какое-то количество рудных тел.

2. Необходимо полное оконтуривание месторождения еще на ранних стадиях разведки. Это даст возможность выбрать для детальной разведки наиболее подходящий участок.
 3. Необходимо комплексное изучение полезного ископаемого, всех содержащихся в нем попутных компонентов с тем, чтобы правильно оценить месторождение и с наибольшей полнотой использовать заключенное в нем сырье.
 4. Необходимо полное изучение вмещающих пород: во-первых, для проектирования систем отработки месторождения, во-вторых, для выяснения возможностей использовать их как попутное сырье.
- История разведки многих месторождений наглядно свидетельствует о том, что нарушения требований принципа полноты исследований приводили к тому, что приходилось затрачивать большие средства на доразведку, доизучение месторождений.

Принцип равной достоверности (равномерности)

В основе принципа лежит положение о том, что природные тела характеризуются изменчивостью форм и качества, выявить которую наиболее уверенно и достоверно при равномерном расположении разведочных выработок или пунктов опробования. Это, однако, не означает, что разведочные выработки всегда следует располагать на равных расстояниях. Наоборот, в одном рудном теле в направлении меньшей изменчивости (например, по простиранию) расстояния между выработками и пунктами опробования должны быть большими, чем по направлению большей изменчивости (например, по падению). Расположение выработок, согласно этому принципу, соответствует характеру изменчивости месторождения. Для достижения равной достоверности необходимо предусматривать увеличение количества наблюдений (стужение разведочной сети) на участках месторождения, отличающихся более сложным геологическим строением.

Детальность и достоверность исследований, отвечающих данной стадии разведки, а также равномерность результатов достигаются не только равномерным

расположением выработок, но и применением технических средств, равноценных по своим возможностям, использованием единого способа отбора проб, производством анализов по единой методике, в одной лаборатории и т. д.

Принцип наименьших затрат средств и времени

Этот принцип является основным положением не только разведки, но и всех видов хозяйственной деятельности, смысл его очевиден.

На первый взгляд некоторые принципы разведки *противоречат друг другу. Так, требования принципа полноты исследований потенциально поддерживают стремление заложить максимальное число разведочных выработок, чаще и в большем объеме отбирать пробы и производить другие разнообразные виды работ.* С другой стороны, принцип наименьших затрат требует минимизации объемов геологоразведочных работ.

Принцип последовательных приближений, предусматривая стадийность геологоразведочного процесса, как бы сдерживает темп разведки вопреки принципу наименьших затрат времени. На самом деле именно с учетом всех этих требований создаются важные для практики понятия о необходимой и достаточной полноте исследований, об оптимальных плотностях разведочных сетей, об оптимальных интервалах опробования, а также нормы на различного рода измерения и исследования.

3.5. Методы разведки

По А. Каждану, методика разведки включает в себя совокупность трех основных приемов исследования недр: 1) создание упорядоченных систем искусственных обнажений с помощью разведочных горных выработок и скважин; 2) проведение геологических, геофизических, геодезических и других видов наблюдений и опробование горных выработок и скважин; 3) геологическую, горнопромышленную и экономическую оценки разведанных объемов недр на основе анализа и обработки полученной информации.

Любая разведочная выработка или скважина, пересекающая тело полезного ископаемого, представляет собой искусственное обнажение и может рассматриваться как единичное разведочное пересечение. Разведочное пересечение должно, во-первых, быть ориентированным в направлении, близком к максимальной изменчивости важнейших свойств тела (как правило, это направление совпадает с направлением мощностей тел), и, во-вторых, вскрывать залежи полезных ископаемых на их полную мощность, захватывая прилегающие к ним участки неминерализованных пород.

Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует разведочный разрез, а совокупность разведочных разрезов в пространстве — разведочную систему. Основные группы разведочных систем рассмотрены ниже.

Разведочное опробование является теоретически обоснованным способом выяснения качества полезного ископаемого, другого способа в процессе разведки не существует. Основные вопросы, связанные с опробованием, рассмотрены в отдельном разделе.

Оценочное сопоставление непрерывно сопутствует всему процессу разведки месторождения. Сравнение параметров месторождения с требованиями промышленности, сравнение разведываемого месторождения с другими подобными объектами, сравнение элементов процесса его промышленного освоения (добычи, переработки и др.) с подобными элементами других горнопромышленных предприятий является основой промышленной оценки месторождения на разных стадиях разведки и освоения.

Системы детальной разведки

По В. Смирнову и А. Прокофьеву, существуют три группы систем детальной разведки: горная, буровая и комбинированная горно-буровая, среди которых выделяются тридцать основных систем.

Группа систем разведки горными выработками. Полная разведка рудных тел исключительно горными выработками применяется в основном на неустойчивых по форме и распределению полезного компонента

месторождениях. В этой группе выделены четыре системы.

Разведка канавами применяется при исследовании и прослеживании слюдоносных пегматитовых жил на их выходах. Пегматиты и мусковит устойчивы к выветриванию, поэтому канавы позволяют произвести отбор надежных и представительных проб. Данные поверхностной разведки можно экстраполировать на значительную глубину.

Разведка шурфами применяется для близковерхностных горизонтальных или пологозалегающих тел полезных ископаемых (рис. 3.5.1). В ряде случаев при разведке сложных тел дополнительно используют рассечки: из вертикального шурфа на некоторой глубине проходит квершлаг для вскрытия залежи. Иногда возникает необходимость проходки второго квершлага на большей глубине. Так создается достаточно сложная система вертикальных и горизонтальных выработок, позволяющая строить детальные разведочные разрезы (рис. 3.5.2). Достоинства системы сводятся к возможности получения достоверного геологического материала, крупных проб, а также к сравнительной дешевизне этого способа и возможности обеспечить широкий фронт разведочных работ. Недостатками системы являются ограниченность применения ее глубиной 30 м, иногда до 50 м от поверхности, а также крупные затруднения, возникающие при ее осуществлении в сильноводоносных породах.

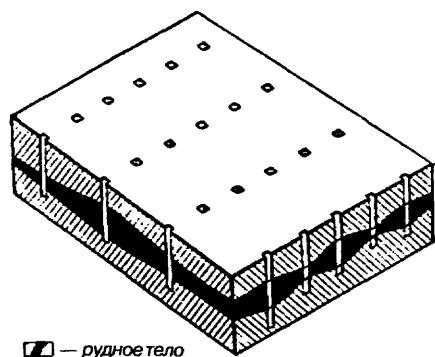


Рис. 3.5.1. Разведка шурфами

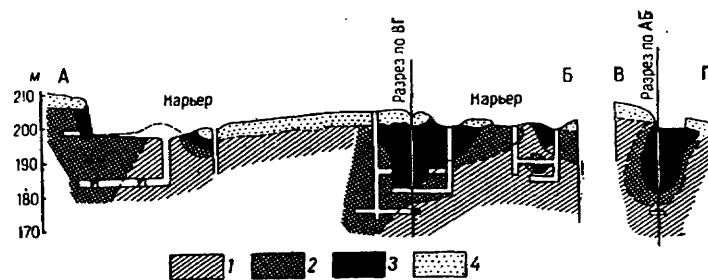


Рис. 3.5.2. Система шурфов с рассечками, примененная при разведке месторождения Семиз-Бугу (по П. Татаринovu):

- 1 — вторичный кварцит; 2 — андалузитовая порода;
- 3 — залежи корунга; 4 — гнейс

Разведка штольнями применяется на местности с расчлененным рельефом и обычно сводится к проходке нескольких штолен, закладываемых как по простиранию, так и по падению рудного тела (рис. 3.5.3). При необходимости из штолен развиваются штреки, орты, квершлаг и гезенки (рис. 3.5.4). Штольни закладываются на разных строго установленных уровнях с таким расчетом, чтобы по завершении проходки все рудное тело было нарезано увязанными между собой горизонтами с точной сбойкой выработок, идущих на одном уровне от разных устьев. Достоинства системы определяются возможностью получения детального геологического материала и сравнительной простотой горно-технического осуществления. Недостаток системы связан с ограниченными условиями ее применения.

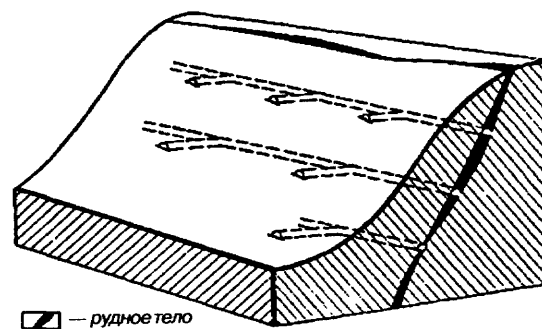


Рис. 3.5.3. Разведка штольнями

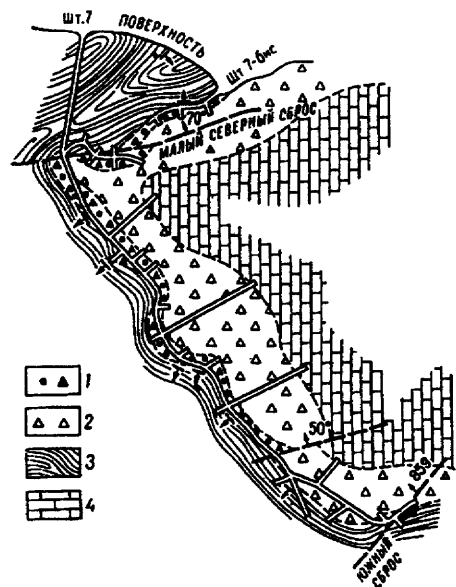


Рис. 3.5.4. Система разведки штольнями с рассечками (по А. Полякову):

1 — рудная брекчия; 2 — оруденелая брекчия непромышленная; 3 — сланцы; 4 — известняки

Разведка шахтами производится в условиях ровного рельефа. Стволы шахт не являются разведочными выработками, а обеспечивают возможность проходки из них системы подземных выработок (квершлаггов, штреков, ортов и др.) для разведки рудного тела (рис. 3.5.5). Разведка шахтами дает точный геологический материал, но является дорогой, технически сложной и применяется не часто.

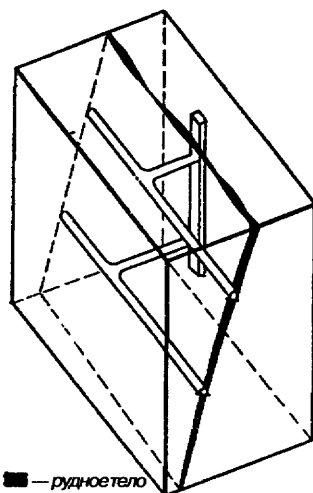


Рис. 3.5.5. Разведка шахтой

Группа систем разведки буровыми скважинами. Полная разведка рудных тел исключительно буровыми скважинами возможна только для месторождений, обладающих устойчивой морфологией, непрерывным оруденением и относительно равномерным распределением металла в крупных рудных залежах. Выделены пять систем.

Разведка мелкими скважинами применяется в тех же случаях, что и система разведки шурфами. Особенно часто к ней приходится прибегать при разведке сильно обводненных участков (например, долинных россыпей), на которых проходка шурфов затруднена. Эта система дешевле шурфовой, но дает менее подробный геологический материал.

Разведка скважинами колонкового бурения наиболее широко распространена, особенно при изучении глубоко залегающих месторождений (рис. 3.5.6). Она применима практически в любых условиях. Недостатками ее являются значительный расход воды, низкий выход керна в ряде разновидностей пород, малый объем проб.

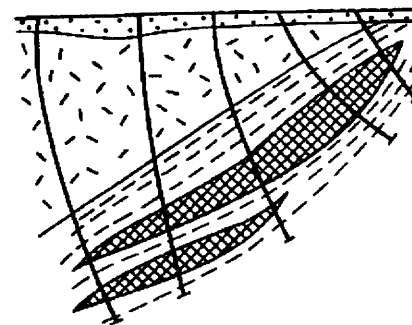


Рис. 3.5.6. Разведка глубокими скважинами колонкового бурения (разрез)

Разведка глубокими скважинами ударно-канатного бурения осуществляется для рудных тел, обладающих большой площадью в плане, залегающих среди любых пород (рис. 3.5.7). Основное достоинство этой системы определяется возможностью получения крупных проб благодаря большим диаметрам скважин. Недостатки ее связаны с ограниченными возможно-

стями документации скважин, отсутствием нераздробленных образцов, а также с тем, что скважины бурятся только вертикальные.

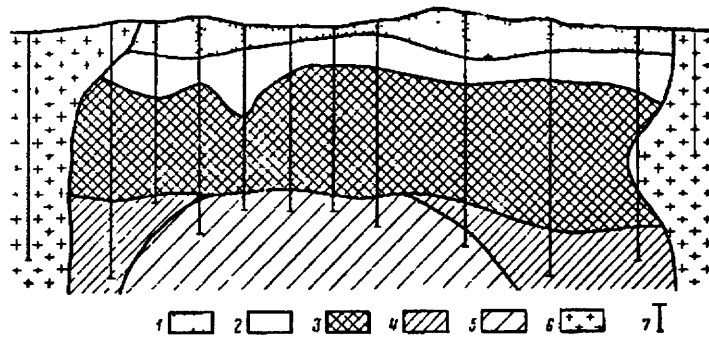


Рис. 3.5.7 Схематический разрез месторождения прожилково-вкрапленных медных руд во вторичных кварцитах

- 1 — окисленная руда, 2 — зона выщелачивания, 3 — вторичная сульфидная руда, 4 — первичная промышленная руда, 5 — первичная непромышленная руда, 6 — гидротермально измененные гранодиорит-порфиры (вторичные кварциты), 7 — скважины

Разведка глубокими скважинами осуществляется бурением ударно-канатных скважин для получения крупных проб и некоторого количества колонковых скважин, позволяющих более детально изучить разрез месторождения и получить образцы горных пород и руд.

Разведка роторным бурением широко распространена на нефтяных и газовых месторождениях и почти не находит применения на месторождениях рудных и нерудных полезных ископаемых, за исключением редких случаев проходки неглубоких скважин.

Группа горно-буровых систем разведки. Очень часто разведка рудных месторождений осуществляется комбинацией горных и буровых работ. При этом горные выработки обеспечивают получение детальных геологических данных по части месторождения, а буровые скважины позволяют оконтурить остальную часть месторождения. Горно-буровые системы чаще всего применяются при разведке рудных тел средней сложности как в отношении морфологии, так и в отно-

шении распределения металлов. Выделяются четыре горно-буровые системы.

Разведка бурением с контрольными шурфами. Для подтверждения данных, полученных при разведке пологих и неглубоко залегающих рудных тел при помощи бурения мелких скважин, часто проводится определенное количество шурфов (обычно 5–10 % от общего числа скважин). Задаются контрольные шурфы или вместо скважин, или на месте скважин после проходки последних. Шурфы используются также для отбора валовых проб, материала для лабораторного изучения пород и руд, для осмотра и документации рудного тела.

Система разведки бурением с контрольными штольнями подобна предыдущей, но применяется в горных районах.

Разведка штольнями и скважинами глубокого колонкового бурения: система применяется в тех случаях, когда по условиям рельефа верхняя часть рудных тел доступна для разведки штольнями, а остальная часть разведывается колонковым бурением (рис. 3.5.8).

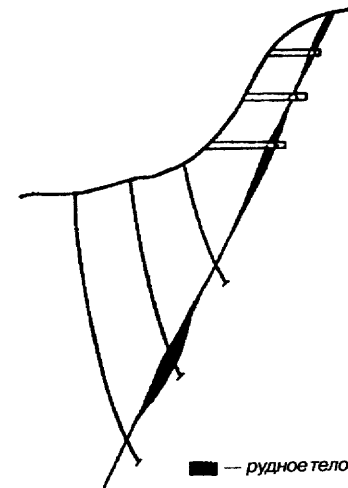


Рис. 3.5.8 Разведка штольнями и скважинами глубокого колонкового бурения (разрез)

Разведка шахтами и скважинами глубокого колонкового бурения. При разведке шахтами обычно вскрываются один-два, редко более, горных горизонта. Дальнейшая разведка на глубину горными выработками, проходимыми из шахты, резко усложняет технические условия их проведения и сильно удорожает разведку. Поэтому если горная разведка верхней части рудного тела дает достаточный геологический материал для выяснения строения и состава месторождения, то оконтуривание рудного тела на глубине может быть произведено колонковым бурением.

(рис. 3.5.9). При этом буровые скважины могут проходить как с поверхности, так и из подземных горных выработок (рис. 3.5.10).

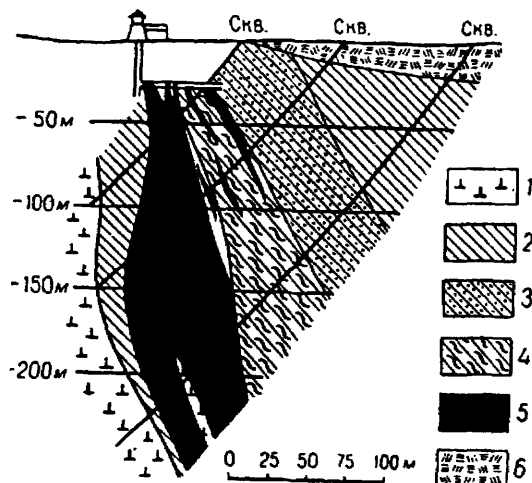


Рис. 3.5.9. Система разведочных шахт и наклонных буровых скважин (по В. Бирюкову):
1 — альбитофиры; 2 — сланцы; 3 — сланцы окварцевания;
4 — сланцы пиритизирования; 5 — колчеданные руды; 6 — бурые глины

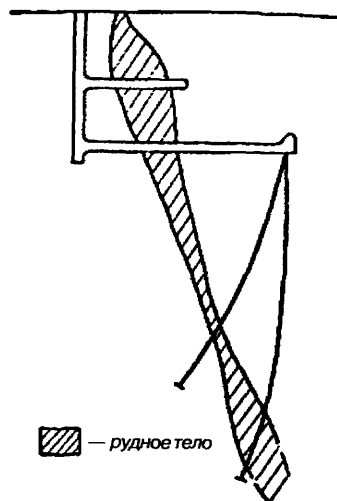


Рис. 3.5.10. Разведка шахтой и скважинами глубокого колонкового бурения (разрез)

Помимо перечисленных основных систем разведки используются и другие частные системы. Например, часто используется сочетание разведочных штреков, пройденных на нескольких горизонтах, с подземными горизонтальными скважинами, которые проводятся взамен ортов или чередуясь с ними (рис. 3.5.11).

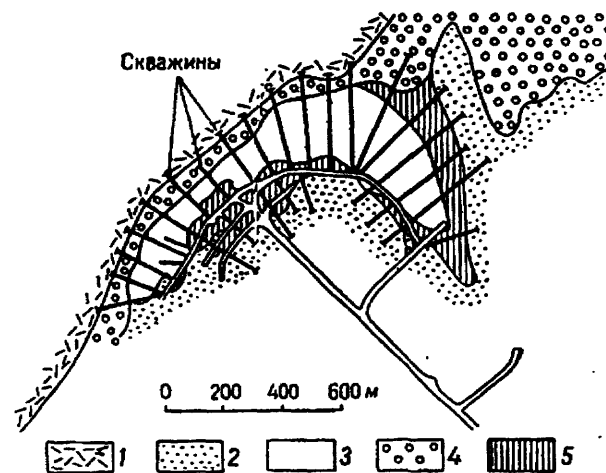


Рис. 3.5.11. Система разведки подземными горными выработками с горизонтальными скважинами (по В. Бирюкову и др.):
1 — диориты; 2 — порфириды; 3 — сульфидная руда;
4 — зеленокаменные породы; 5 — сланцы.

Расположение разведочных выработок

Существуют два основных способа закономерного размещения разведочных выработок и скважин: по сетке и по линиям.

Разведочные сети определяют расположение выработок по взаимно пересекающимся линиям; при этом различают сети квадратные, прямоугольные и ромбические (рис. 3.5.12).

При разведке линиями выработки и скважины располагаются по прямым направлениям, обычно ориентированным поперек рудного тела. Чаще всего та-

кой порядок расположения принимается для плоских крутопадающих рудных тел (линзы, жилы, пласты). При этом разведочные выработки и скважины располагаются или по линиям, дающим возможность построить ряд горизонтальных разрезов, или по линиям, обеспечивающим создание серии вертикальных поперечных разрезов. Разведка линиями принимается также для неглубоких, горизонтально залегающих рудных тел, вытянутых в одном направлении, например россыпей, кор выветривания и др.

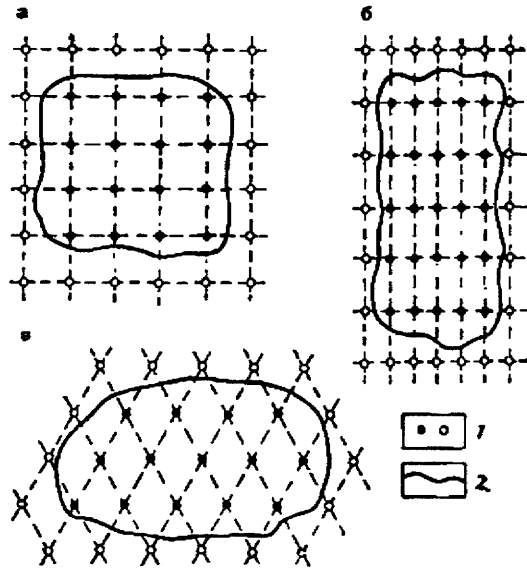


Рис. 3.5.12. Правильные разведочные сети:
 а — квадратная, б — прямоугольная, в — ромбическая;
 1 — скважины (соответственно) рудные и нерудные;
 2 — контуры тел полезных ископаемых

Строго говоря, расположение выработок по линиям также образует разведочную сеть, но с резко выраженной анизотропией. А. Каждан подчеркивал, что применение геометрически правильных разведочных сетей обеспечивает объективность выборочных данных, способствует выявлению неслучайных составляющих изменчивости геологоразведочных параметров

и благоприятствует применению математических методов их обработки.

Главным конструктивным элементом разведочной сети является ячейка сети, которая представляет собой область, непосредственно примыкающую к точке наблюдения (скважине или горной выработке), ограниченную по методу ближайшего района (рис. 3.5.13).

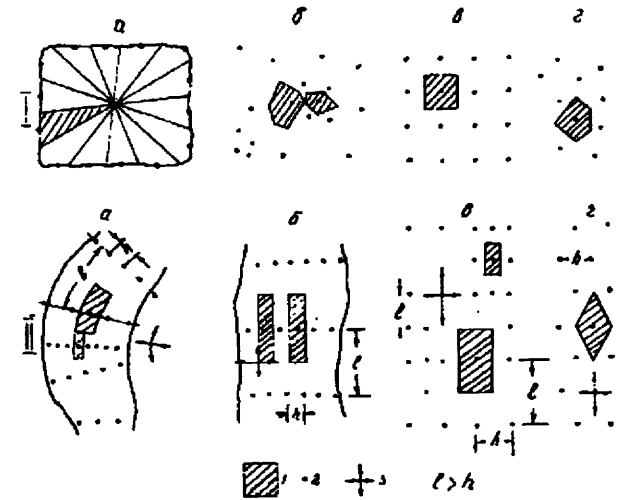


Рис. 3.5.13. Виды сетей разной геометрии (по Л. Четверикову):
 I — изотропные сети: а, б — неравномерные, в, г — равномерные;
 II — анизотропные сети: а, в — неравномерные, б, г — равномерные; 1 — ячейки сети; 2 — местоположение точек наблюдений; 3 — оси анизотропии сети проб

Одним из важнейших понятий является плотность разведочной сети. Плотность определяется расстоянием между точками наблюдений или размером разведочной ячейки. Оптимальной считается такая плотность, которая обеспечивает получение необходимой для подсчета запасов разведочной информации с требуемой точностью и детальностью для данного этапа разведки.

Детализация разведочных работ предусматривает сгущение разведочной сети; при этом иногда возника-

ет необходимость изменения вида сети; квадратная сеть может быть преобразована в прямоугольную или ромбическую и т. д. (рис. 3.5.14).

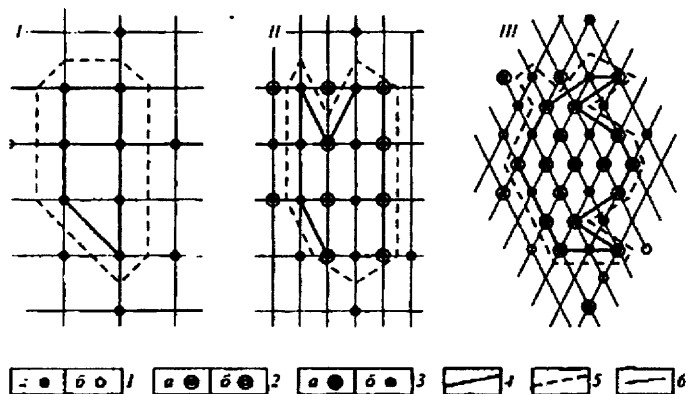


Рис. 3.5.14. Последовательное сгущение разведочной сети (по А. Милютину):

I — изначальная квадратная сеть; II — прямоугольная сеть, полученная путем сокращения вдвое расстояния между скважинами по линии вкрест простирания; III — ромбическая сеть, образовавшаяся в результате проходки скважин в центре ячеек прямоугольной сети; 1–3 — буровые скважины (1 — предварительной разведки (а — рудные, б — безрудные); 2 — детальной разведки (а — рудные, б — безрудные); 3 — горазведки (а — рудные, б — безрудные)); 4, 5 — линии контуров рудного тела (4 — внутреннего контура, 5 — внешнего); 6 — линии сети, определяющие ее форму

Важнейшими характеристиками разведочной сети являются ориентировка, форма и размеры ее ячейки. Ячейка — главный конструктивный элемент разведочной сети. В анизотропных сетях у ячеек вытянутая форма и ориентированы они в одном направлении. В плане выделяются два ортогональных направления — две оси анизотропии с наибольшим I_{\max} и наименьшим I_{\min} средними расстояниями между выработками. Показателем анизотропии разведочной сети является величина $A_c = I_{\max} / I_{\min}$.

Ориентировка и соотношение сторон ячеек разведочной сети зависит от характера анизотропии ведущего геологоразведочного параметра в продольных плоскостях продуктивных залежей или рудных тел.

При разведке изотропных объектов используют квадратную сеть. Анизотропные залежи требуют применения прямоугольной или ромбической сети. При этом длинная сторона ячейки ориентируется вдоль направления минимальной изменчивости, а соотношение размеров ячейки устанавливается пропорционально отношению показателей анизотропии данного параметра по двум взаимно ортогональным 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, а для надежной оценки качества минерального сырья — характеристики изменчивости линейных запасов или содержаний.

Л. Четвериков показал, что размер и геометрия разведочной сети влияют на выявляемую изменчивость признака, в частности на анизотропию закономерной изменчивости.

1. Наложение изотропной сети на анизотропный объект приводит к уменьшению анизотропии у наблюдаемой изменчивости содержания по сравнению с природной анизотропией. Чем анизотропнее объект, тем значительнее подобное искажение.
2. Реализация равномерной анизотропной сети в изотропном объекте обуславливает появление ложной анизотропии у наблюдаемой изменчивости содержания. По своему типу и ориентировке фиксируемая ложная анизотропия A_λ соответствует анизотропии сети A_c , но оказывается несколько меньшей по своему значению $A_\lambda < A_c$.
3. Осуществление анизотропной неоптимальной геометрии сети в анизотропном объекте может привести к следующему. Если анизотропия сети A_c отличается от анизотропии объекта A_0 только значением показателя анизотропии, то при $A_c \ll A_0$ будет отношение $A_c < A_\lambda < A_0$, а при $A_c \gg A_0$ будет $A_c > A_\lambda > A_0$.

Наиболее существенные искажения происходят при несовпадении ориентировок анизотропной сети и

объекта. Неравномерность разведочной сети обуславливает дополнительные искажения наблюдаемой изменчивости, имеющие свои специфические особенности в каждом конкретном случае.

Эти положения наглядно подтверждаются экспериментальными данными. Так, на рис. 3.5.15 приведен один из примеров влияния ориентировки разведочной сети на наблюдаемую изменчивость содержания полезного компонента. Компьютерная модель месторождения опробована ЭВМ прямоугольной сетью с постоянным размером ячейки, но различно ориентированной. Хорошо видно, как близкая к реальной картина распределения содержаний, полученная сетью оптимальной геометрии (рис. 3.5.15, А), резко искажается при изменении ориентировки сети; ложная анизотропия в данном случае существенно превышает анизотропию объекта (рис. 3.5.15, Б, В, Г).

Вероятные погрешности оценок запасов и средних значений геологоразведочных параметров в пределах подсчетных блоков определяются количеством разведочных пересечений. Оно зависит от предельно допустимых погрешностей определения каждого параметра и заданных доверительных вероятностей этих оценок в подсчетных блоках установленных размеров.

Как было отмечено выше, в ряде случаев разведываемые объекты характеризуются различными степенью и характером изменчивости на разных структурных уровнях строения: рудоносная зона — тело полезного ископаемого — морфологически обособленные участки (рудные столбы) и т. д. При разведке таких объектов возникает необходимость изменять геометрию разведочной сети (не только плотность, но и ориентировку, соотношение сторон разведочной ячейки) при переходе к более детальным исследованиям.

Правильно выбранная разведочная сеть должна быть одновременно оптимальной с позиций как геометрии, так и количества разведочных пересечений на подсчетный блок.

При проектировании геологоразведочных работ определение параметров разведочной сети проводится по аналогии с успешно разведанными и освоенными месторождениями данного промышленного

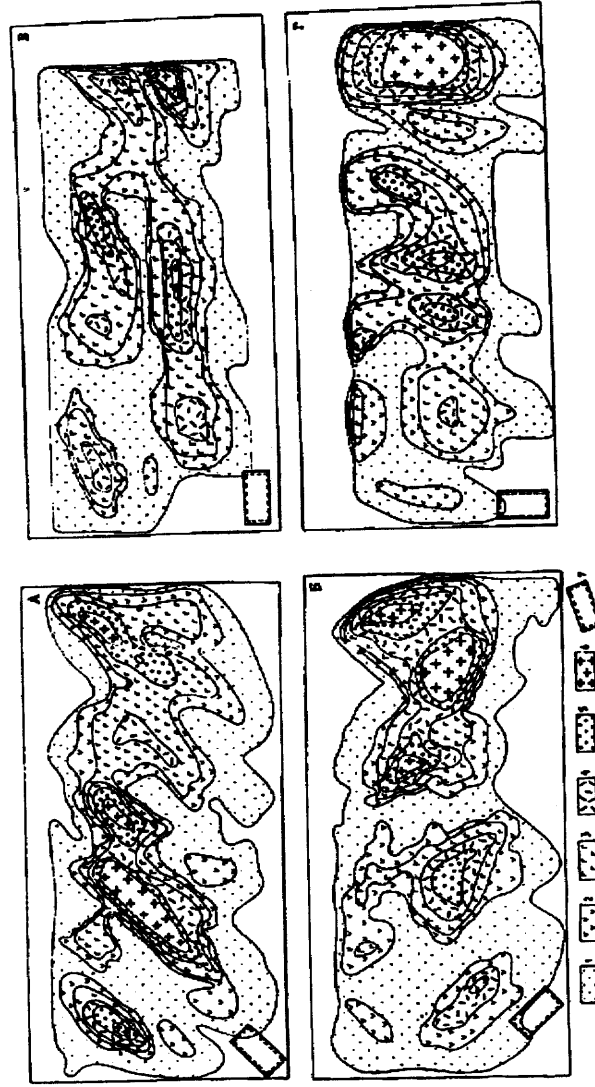


Рис. 3.5.15. Влияние анизотропии разведочной сети на наблюдаемую изменчивость содержания меди в модели рудного тела. А, Б, В, Г — компьютерные модели, построенные по результатам опробования; сеть 50 × 100 м различной ориентировки. Сог. меди (%): 1 — 0,1–0,5; 2 — 0,5–1,0; 3 — 1,0–1,5; 4 — 1,5–2,0; 5 — 2,0–2,5; 6 — 2,5–3,0; 7 — ячейка сети и ее ориентировка

типа. На ранних стадиях разведки месторождений ведущим фактором при формировании разведочной сети является морфогенетический тип данного месторождения.

Систематический анализ получаемой в процессе разведки геологической информации служит основой для корректировки разведочной сети. Оценка оптимальности сети и ее корректировка производятся: 1) по степени увязки смежных разведочных пересечений и разрезов; 2) путем выборочного сгущения разведочных пересечений или разрезов; 3) путем создания эталонных разрезов по типичным направлениям изменчивости свойств полезных ископаемых.

После завершения разведочных работ в ряде случаев возникает возможность оценить оптимальность использованной разведочной сети. Такая оценка выполняется: 1) сопоставлением результатов разведочных работ с результатами эксплуатационной разведки; 2) сравнением подсчета запасов с результатами эксплуатационных работ; 3) методом экспериментального разрежения разведочной сети.

Сравнение результатов разведочных работ с данными, полученными при эксплуатации месторождения, имеет очень важное значение для оценки точности и достоверности разведки и совершенствования разведочных методов. Оценка оптимальности заключается в том, что геологические разрезы и планы (в первую очередь контуры рудных тел), геологоразведочные параметры (средние содержания и др.) и цифры запасов, выявленные в результате разведочных работ, сопоставляются с более детальными данными эксплуатационной разведки. Примеры сопоставления геологических разрезов, контуров рудных тел, особенностей внутреннего строения рудных залежей приведены на рис. 3.5.16, 3.5.17, 3.5.18. По результатам сопоставления оценивается степень подтверждения результатов разведочных работ и проводится корректировка разведочных сетей.

Сущность метода экспериментального разрежения разведочной сети заключается в сопоставлении геологических разрезов, контуров промышленной минерализации, средних значений подсчетных параметров,

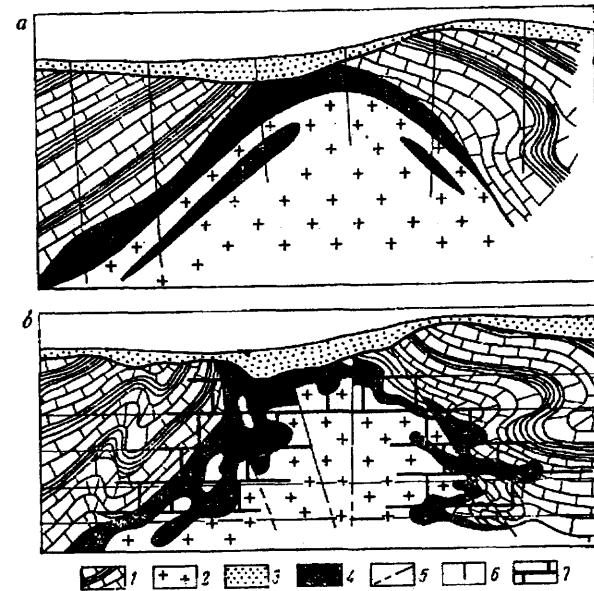


Рис. 3.5.16. Сравнение геологических разрезов, составленных по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведок (по А. Кажгану):

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

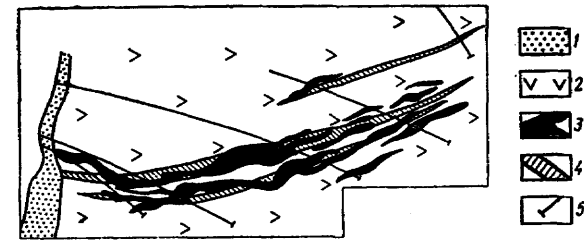


Рис. 3.5.17. Сравнение контуров рудных залежей, построенных по данным детальной и эксплуатационной разведок полиметаллического месторождения (по А. Кажгану):

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

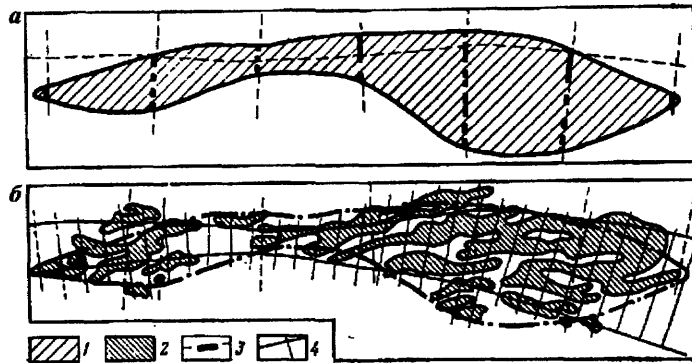


Рис. 3.5.18. Представления о морфологии и внутреннем строении залежей по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведок (по А. Каждану):
 1 — контур залежей по данным детальной разведки; 2 — контур залежей по данным эксплуатационной разведки; 3 — разведочные пересечения детальной разведки с рудными интервалами; 4 — разведочные пересечения эксплуатационной разведки

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.

По вариантам разрежения сети вычисляются фактические погрешности определения средней мощности, среднего содержания полезного компонента, рудной площади и запасов.

Анализ изменения погрешностей определения величины запасов полезного ископаемого в зависимости от плотности сети при различных вероятностях значений показателей изменчивости (коэффициентов вариации) позволяет определить оптимальную плотность сети для данного месторождения или участка.

Поскольку принципиально эти задачи имеют аналогичные решения как на природных объектах при реальной разведке, так и на моделях месторождений с помощью ЭВМ, в качестве примера можно привести варианты разрежения сети на одной из моделей (рис. 3.5.19).

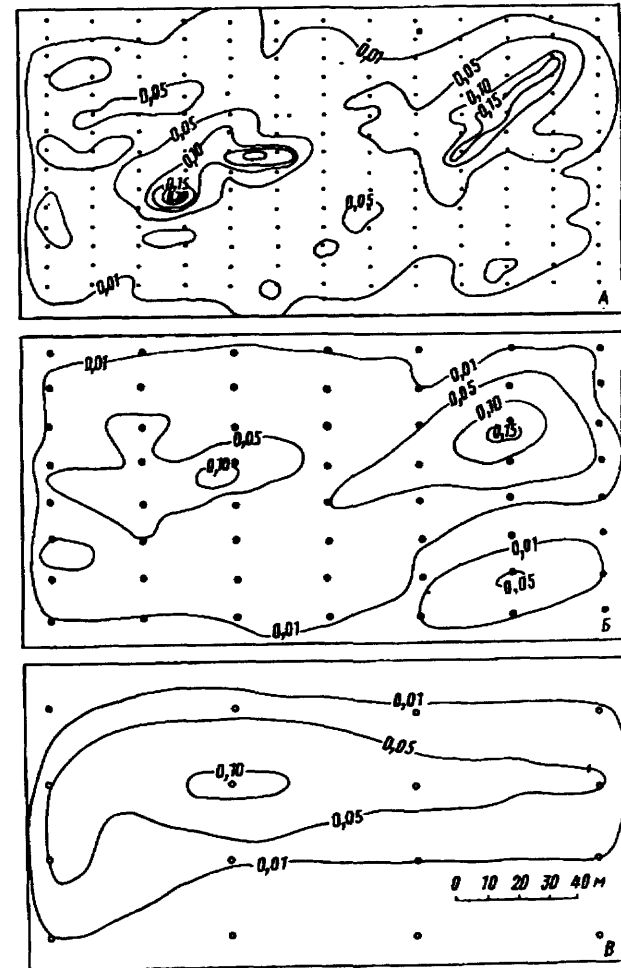


Рис. 3.5.19. Пример разрежения разведочной сети. Изоконцентрации серебра в плоскости рудного тела

Список литературы

1. Авгонин В.В. Технические средства и методика разведки месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во МГУ, 1994. 208 с.

2. Авдонин В.В., Шатагин Н.Н. Решение геологоразведочных задач на ЭВМ. М.: Изд-во МГУ, 1989. 144 с.
3. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1964. 399 с.
4. Милютин А.Г. Геология: Учебник. М.: Высшая школа, 2004. 413 с.
5. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). Министерство природных ресурсов РФ – ВИЭМС, 1999.
6. Прокофьев А.П. Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1973. 320 с.
7. Смирнов В.И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1957. 588 с.

Опробование является одним из важнейших способов получения информации в геологии. Пробы отбираются при поисках и разведке месторождений, проведении инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, геологическом картировании, изучении осадочных, магматических, метаморфических пород, практически во всех видах геохимических, минералогических исследований и др. Опробование является по существу единственным, не имеющим альтернативы, способом выявления достоверных, научно обоснованных сведений о качестве минерального сырья, его технологических свойствах, составе и строении тел полезных ископаемых, свойствах вмещающих пород и т. д.

Опробование осуществляется путем отбора проб, их обработки, выполнения соответствующих испытаний и оценки полученных результатов. Принято называть пробой порцию материала, отобранную от изучаемого объекта для проведения тех или иных испытаний. Такие пробы называют материальными; этот вид опробования наиболее распространен. Материал пробы может быть получен двумя способами: путем сплошного отбора в одном месте (сплошные пробы) или путем составления пробы из отдельных порций, взятых по определенной системе.

В настоящее время широко используются разнообразные методы (иногда их называют геофизическими) определения свойств пород (в том числе полезных ископаемых) непосредственно в естественном обнажении путем выполнения тех или иных замеров с помо-

щью специальной аппаратуры или визуально. Каждый такой замер тоже следует рассматривать как пробу. Такие пробы называются нематериальными и подразделяются на приборные и визуальные.

Таким образом, по определению Л. Четверикова, проба рассматривается как локальный специфический единичный замер (точнее, одиночное измерение), предназначенный для определения содержания какого-либо признака в объеме руды или породы.

Сплошные материальные пробы обладают свойством неповторимости. Каждая повторно отобранная проба, как бы близко она не находилась к предыдущей, представляет собой самостоятельный и тоже неповторимый замер, относящийся к другому объему исследуемого материала. Это свойство материальных проб заметно осложняет эмпирическую оценку их достоверности.

В отличие от материальных проб нематериальные могут быть повторены многократно в адекватных условиях. Это существенное преимущество их над материальными пробами.

В связи с огромным разнообразием объектов опробования (геолого-промышленные типы месторождений, промышленные типы и сорта минерального сырья), целей и задач (минеральный и химический состав, физические, механические и другие свойства) требования к опробованию существенно различаются. Поэтому сложилась практика разработки инструктивных и методических руководств ресурсодобывающими ведомствами. В них регламентируются способы, параметры и технические средства опробования. Эти ведомства осуществляют также метрологическое обеспечение управления качеством отбора, обработки и испытаний проб с регламентированной ими точностью.

Важнейшие методические вопросы, связанные как с отбором проб, так и с оценкой полученных результатов, наиболее детально и всесторонне разработаны для опробования рудных месторождений. В этой области накоплен обширный эмпирический материал, разработаны теоретические основы, которые пока еще не в полной мере используются при опробовании в других видах геологических исследований. Поэтому

целесообразно основные особенности опробования рассмотреть на примерах опробования рудных месторождений.

4.1. Опробование рудных месторождений

В процессе разведки месторождений опробование играет важнейшую роль. К числу его главных задач относится: выявление качества минерального сырья, химического и минерального состава руд, технических и технологических свойств, а также закономерностей пространственного размещения руд, основных особенностей внутреннего строения рудных тел, их зональности и др. В. Смирнов отмечает: «Опробование является очень важной операцией геологоразведочных работ, т. к. оно дает возможность оценить качество руды по ее сортам и отдельным участкам месторождения, а также выяснить закономерности распределения оруденения в пространстве, в частности определить особенности размещения обогащенных и разубоженных участков».

Осуществление целей опробования обычно связано с решением одной из двух основных задач. Первая заключается в определении среднего содержания, характерного или в целом для опробованного объекта, или для отдельной его части; вторая — в оценке наблюдаемой изменчивости и в определении закономерностей этой изменчивости.

В процессе разведки и эксплуатации месторождений опробование позволяет получить данные, необходимые для решения важнейших вопросов: 1) для определения запасов руды и металла; 2) для оконтуривания рудных тел, а также в их пределах участков, различия по качеству минерального сырья; 3) для направления геологоразведочных и подготовительно-эксплуатационных работ, что в первую очередь относится к месторождениям, на которых тела полезных ископаемых не имеют четких геологических границ и постепенно переходят во вмещающие породы; границы промышленно ценного минерального сырья в этих случаях устанавливаются только по результатам опро-

бования; 4) для выбора способа переработки руд при их обогащении и металлургическом переделе; 5) для составления планов и программ добычи руды и металла; 6) для контроля за полнотой отработки рудных тел при эксплуатации; 7) для получения исходных данных для определения потерь, разубоживания и разработки мер борьбы с ними.

Выделяются четыре главных вида опробования: химическое, минералого-петрографическое, техническое и технологическое.

Химическое опробование производится для определения содержания полезных и вредных компонентов, выявляющего промышленную ценность отдельных участков и всего месторождения в целом. Надо заметить, что на самом деле определение содержаний различных компонентов производится не только химическими анализами, но и разнообразными другими способами (спектральным, полярографическим, нейтронно-активационным и др.).

Минералого-петрографическое опробование применяется для изучения минерального состава пород и руд, их текстурно-структурных особенностей, которые, в частности, оказывают влияние на выбор способа переработки руд.

Техническое опробование проводится для определения физико-механических свойств минерального сырья, которое обычно применяется в промышленности без переработки и ценится именно этими свойствами. Например, строительные материалы исследуются на сопротивление сжатию, изгибу, на морозостойкость; в глинах определяются их керамические свойства (огнеупорность, пластичность, спекаемость, огневая усадка); листовая слюда подвергается испытаниям для определения электротехнических свойств и т. д.

К техническому опробованию относятся определения объемной массы руды и ее влажность, что необходимо для подсчета запасов большинства месторождений.

Технологическое опробование проводится для изучения технологических свойств минерального сырья и выбора схемы его переработки. Испытания таких проб проводятся в лабораторных, полужаводских и заводских условиях.

В зависимости от характера предполагаемых испытаний размер, масса проб и характер материала бывают различны. Пробы для химических анализов должны быть представлены тонкораздробленным материалом, масса их составляет около 100–200 г (материал, отправляемый в лабораторию), хотя при отборе проб обычно получают значительно большее количество материала.

Для минералого-петрографических определений отбирают сравнительно небольшие штUFFы, а также мелкие сколки для изготовления шлифов и аншлифов.

При техническом опробовании отбирают штUFFы или монолиты, размер которых зависит от характера испытаний: объемная масса и пористость определяют на небольших штUFFах, для определения сопротивления сжатию или морозостойкости отбирают монолиты размером 20 × 20 × 20 см; оценка декоративных свойств камня проводится с отбором крупных блоков — 0,05–0,1 м³ и более.

Для изучения технологических свойств минерального сырья в полужаводских и заводских условиях размеры проб обычно согласовываются с организацией, проводящей испытания. Масса таких проб может колебаться в широких пределах — от нескольких сотен килограммов до сотен и первых тысяч тонн.

Способы отбора проб в горных выработках

Для отбора проб различного назначения, главным образом для химических анализов, используется несколько способов: штUFFной, бороздовый, задирковый, валовой, шпуровой, точечный и вычерпывания.

ШтUFFной способ заключается в том, что в забое, стенке выработки или уже отбитой массы отбирается 1–3 образца (штUFFа) руды или породы. Масса каждого образца 0,2–0,5 кг. ШтUFFное опробование производится быстро, просто и дешево, однако для изучения химического состава руд непригодно по причине низкой точности и представительности. Как правило, штUFFные пробы отбирают в основном для минералого-петрографических исследований, определения физико-механических свойств, технических испытаний

(в этом случае отбирают монолиты соответствующей формы и размера) и почти никогда для химического анализа, за исключением тех случаев, когда необходима предварительная, ориентировочная оценка качества минерального сырья.

Бороздовый способ пользуется наиболее широким распространением при опробовании рудных месторождений. Каждая индивидуальная проба отбирается выкалыванием или вырезанием из вскрытого в горных выработках или естественных обнажениях рудного тела узкой ленты — борозды, ориентированной по линии наибольшей изменчивости. Как было отмечено выше, наиболее изменчивым является направлением по мощности рудного тела.

Расположение бороздовых проб в горных выработках зависит от условий залегания тел полезных ископаемых и от ориентировки выработок (рис. 4.1.1). Бороздовые пробы отбираются в забоях, по стенкам горных выработок и в их кровле. Принцип ориентировки борозд по линии наибольшей изменчивости соблюдается и при опробовании изометричных и трубообразных тел: бороздовые пробы располагаются в плоскости поперечного сечения обычно по радиальным направлениям. В изометричных рудных телах, представленных штоками, гнездами, борозды располагаются по преобладающим направлениям чередования рудных прожилков или зон.

Иногда при опробовании маломощных рудных тел с крайне неравномерным распределением полезного компонента отбирают две или три параллельные борозды, объединяя материал в одну пробу; этим повышается представительность и надежность опробования.

В случае опробования зональных рудных тел, слоистых или полосчатых залежей, когда каждая зона или полоса характеризуется различным строением, минеральным составом и концентрациями металлов, борозды разделяют на секущие, соответствующие отдельным зонам. Каждая секция при этом представляет собой самостоятельную пробу. Например, при опробовании сульфидных тел самостоятельными секциями опробуются сплошные сульфидные руды, прилегающие к ним вкрапленные руды и минерализованные приазбановые зоны (рис. 4.1.1). Секционное опробование поз-

воляет более детально изучить распределение полезных компонентов в разных частях рудного тела, выделить сорта и типы руды, подлежащие селективной отработке. Секционное опробование используется и для определения границ рудных тел, которым свойственны постепенные переходы в безрудные боковые породы.

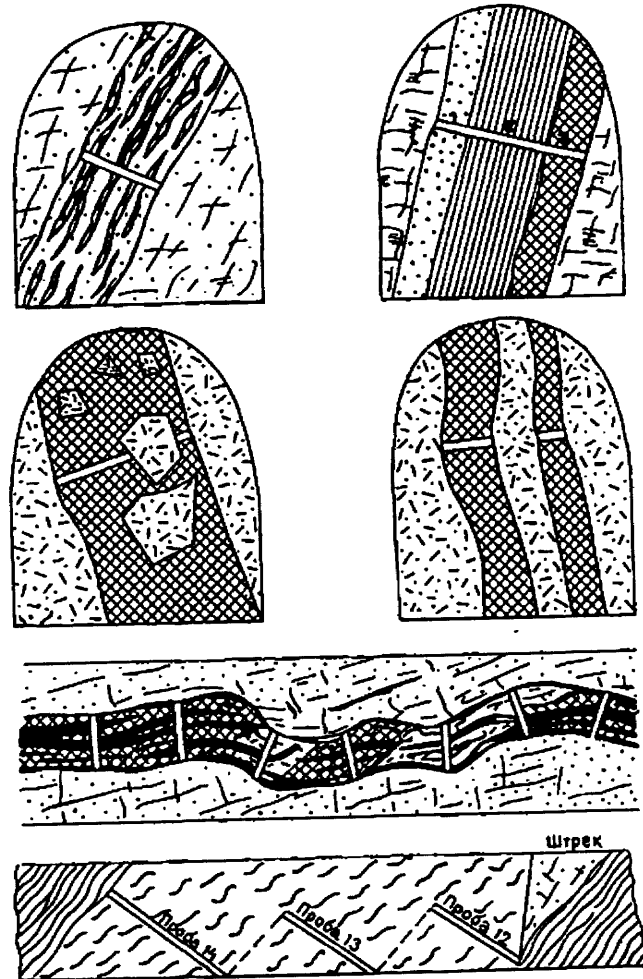


Рис. 4.1.1. Схемы расположения бороздовых проб в забоях и на стенках горных выработок

Длина бороздовых проб, отбираемых в рудных телах малой и средней мощности, определяется размером последней и может составлять 2–3 м. Если руды характеризуются крайне неравномерным распределением металла, они опробуются секционной бороздой с длиной секций до 1 м. При опробовании более мощных рудных тел, вскрываемых ортами или квершлагами, борозда делится на секции в 1, 2 или 3 м в зависимости от характера распределения полезного компонента.

Форма сечения борозды может быть квадратной, прямоугольной и треугольной. Наиболее часто отбираются борозды прямоугольного сечения, при этом глубина борозды составляет 2–3 см, а ширина 5–15 см в зависимости от мощности тела и равномерности распределения полезного компонента: чем меньше мощность тела и неравномернее распределение металла, тем шире и глубже борозда. Принятое сечение строго выдерживается по всей длине борозды, чтобы количество материала, получаемого с единицы длины, было везде одинаковым. Нарушение этого правила снижает точность опробования и приводит к искажению результатов.

Главными достоинствами бороздового способа являются объективность и высокая точность, что делает его универсальным способом пробоотбора, используемым при разведке самых разнообразных месторождений. Он не может применяться лишь в очень редких случаях, к которым относятся: 1) опробование исключительно тонких одиночных рудных прожилков руд благородных и редких металлов, по которым поперечная борозда не обеспечивает надежной массы пробы; 2) опробование руд с очень редкими зернами ценных минералов (конгломераты с золотыми самородками, гнезда хромшпинелидов с крупными включениями платины и др.); 3) опробование руд с исключительно хрупкими вкрапленниками и скоплениями рудных минералов, интенсивно выкращивающимися из трещиноватых пород при вырубании борозды.

Существенным недостатком бороздового опробования является его низкая производительность. Поэтому в некоторых случаях используют разновидности бороздового способа: пунктирную борозду и пленочные

пробы. Отбор пунктирной борозды заключается в отбойке материала вдоль линии борозды в виде мелких отдельных кусочков диаметром 2–4 см. Расстояние между такими порциями 3–5 см. В данном случае отбирается не сплошная, а составная проба, так же как при точечном опробовании. Этот способ, позволяющий резко увеличить скорость отбора проб, применим при опробовании главным образом руд с равномерным и весьма равномерным распределением полезного компонента.

Пленочные пробы представляют собой модификацию бороздовых проб, глубина которых составляет 2–3 мм. Отбойка материала пробы в виде тонкой ленты дает хорошие результаты при опробовании однородных массивных руд.

Отбор бороздовых проб значительно упрощается при использовании механических пробоотборников режущего типа (конструкция которых основана на применении двух параллельных алмазных режущих дисков). В некоторых случаях пунктирная борозда может отбираться с помощью перфораторов.

Задирковый способ отбора проб осуществляется путем среза сплошного слоя руды со всей площади тела полезного ископаемого, вскрытого забоем горной выработки или в стенке квершлага или орта (рис. 4.1.4,а). Глубина среза составляет 3–5, реже — 10 см. Объем задириковых проб зависит в основном от размера опробуемой площади рудного тела и измеряется в широких пределах от 0,05 до 1 м³ и более, а их масса колеблется от нескольких до сотен килограммов и даже тонн.

При отборе задириковых проб необходимо соблюдать постоянство глубины отбойки, чтобы обеспечить равномерное получение материала с различных частей опробуемой поверхности рудного тела.

Задирковое опробование — трудоемкое и дорогое, поэтому его используют обычно в трех случаях: 1) при опробовании тонких рудных жил золотых и редкометалльных месторождений, мощность которых не превышает 10 см, в связи с нецелесообразностью опробования их поперечной бороздой, не обеспечивающей надежной массы пробы; 2) при контроле более простых способов пробоотбора, таких, как бороздовое, шпуро-

вое, точечное; 3) иногда для отбора технологических проб вместо валовых; в этих случаях глубина задирки увеличивается до 20 см и проба берется со всей площади забоя или стенки выработки.

Валовое опробование заключается в отборе всей рудной массы, получаемой в процессе проходки выработки, пересекающей рудное тело (в квершлагах и ортах, в шурфах, пересекающих горизонтально залегающие тела, или в специально проходимых для отбора валовых проб выработках). В ряде случаев при пересечении крупных рудных тел количество полученного материала превышает разумные пределы и его сокращают. Такое сокращение осуществляется двумя способами: 1) в пробу отбирают рудную массу по отдельным интервалам выработки; 2) в пробу отбирают часть материала, сокращая его при погрузке или выгрузке отбитой рудной массы (например, в пробу направляют каждую вторую, третью или какую-то *n*-ную лопату, бадью, вагонетку). Второй способ обеспечивает получение более представительного материала. Во всех случаях сокращение валовых проб при их отборе должно быть обосновано расчетами и соответствующим контролем.

Объем и масса валовых проб зависят от мощности рудного тела и сечения выработки и достигают в некоторых случаях десятков кубических метров и нескольких сотен тонн.

Положительной стороной валового опробования является его высокая точность, отрицательной — необходимость отбора, транспортировки и переработки большого количества материала, что усложняет и удорожает его. Поэтому валовое опробование применяется: 1) для контроля всех других способов отбора проб; 2) для опробования тел полезных ископаемых с крайне неравномерным распределением полезного компонента (золотоносные россыпи, коренные месторождения платины и др.); 3) для отбора проб на технологические и технические испытания, особенно нерудных полезных ископаемых — слюды, асбеста и др.

Шпуровой способ опробования осуществляется путем сбора шлама, выбуриваемого в процессе проходки шпуров. Используются как специально задаваемые

для отбора проб шпуров, так и шпуров, предназначенные для буровзрывных работ. При этом опробовать следует шпуров, направленные по линии мощности рудных тел. Привлекательной особенностью шпурового опробования является возможность отбора проб за пределами забоев и стен горных выработок. Эта возможность используется для опробования не вскрытых горными выработками частей крупных рудных тел (рис. 4.1.2).

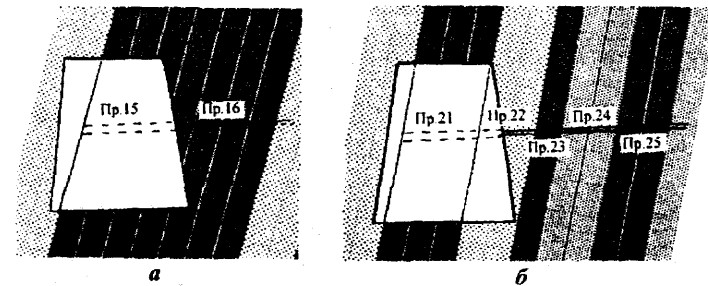


Рис. 4.1.2. Схема отбора проб из шпуров:
а — при опробовании залежи большой мощности; б — при опробовании параллельных тел полезных ископаемых

Достоинствами шпурового опробования являются: 1) высокая представительность проб из шпуров, ориентированных вкрест простирания залежей; 2) механизация пробоотбора; 3) выдержанность сечения пробы; 4) тонкое измельчение материала; 5) возможность отбора проб за пределами выработок.

Недостатки этого способа следующие: 1) практическая невозможность опробования выработок, идущих по простиранию рудного тела — пробы в данном случае неrepresentative, поскольку буровзрывные шпуров ориентированы вдоль рудного тела; 2) невозможность секционного отбора проб; 3) неточность геологической документации опробования; 4) большие потери выбуриваемого материала — шлама.

Тем не менее шпуровой способ широко используется при благоприятных условиях.

Точечный способ заключается в отборе нескольких небольших порций материала, которые в совокупности составляют пробу, т. е. в этом случае берется не

сплошная, а составная проба. Порции, составляющие пробу, берутся по строго определенной системе, по сетке с размером ячеек 10 × 10, 20 × 20 см. Часто используют ромбические или прямоугольные сети (рис. 4.1.3). Число порций, составляющих одну пробу, колеблется от 10 до 20, масса одной порции от 50 до 100 г. Очевидно, что составные пробы должны отбираться по сетке, анизотропия ячеек которой соответствует анизотропии опробуемого участка рудного тела. Только в этом случае проба может быть достоверной и представительной. Отбираемые указанным образом точечные пробы соответствуют задиirkовым и при благоприятных условиях могут заменять их (рис. 4.1.4). Составные пробы, отбираемые по линиям, как было отмечено выше, соответствуют бороздовым — пунктирная борозда.

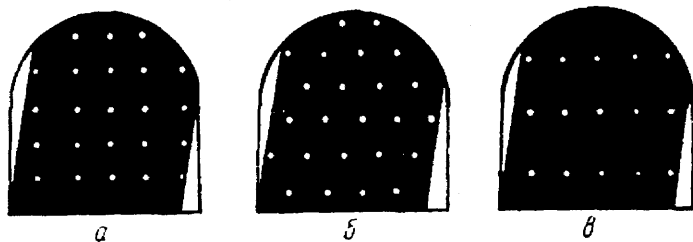


Рис. 4.1.3. Расположение точечных проб в забое по сетке: а — квадратной; б — ромбической; в — прямоугольной

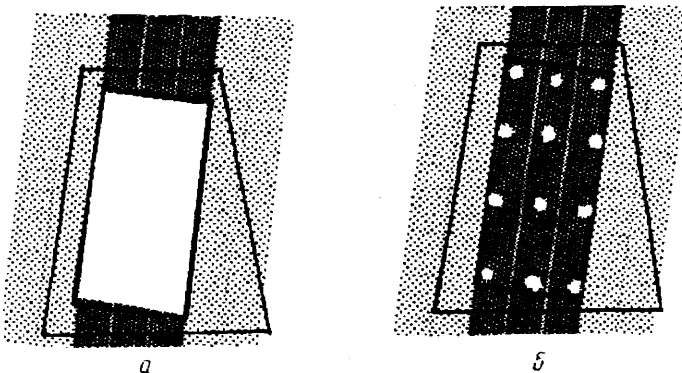


Рис. 4.1.4. Схемы отбора проб в забое горной выработки: а — сплошной задиirkовой; б — составной точечной

Следует подчеркнуть, что замена сплошных бороздовых и задиirkовых проб составными допускается лишь в тех случаях, когда экспериментально удастся доказать, что составные пробы по достоверности и представительности сопоставимы со сплошными. Это наиболее вероятно для однородных рудных тел с относительно равномерным распределением полезного компонента. Впрочем, в ряде случаев показано, что правильный выбор сети опробования и плотности отбора порций обеспечивает вполне удовлетворительную представительность и надежность точечных проб для руд с весьма неравномерным распределением металла.

Точечный способ применяют также для опробования навалов отбитой руды в забоях выработок или руды, погруженной в вагонетки, вагоны и т. д. Этот способ называют также горстьевым (рис. 4.1.5). Его применение целесообразно в выработках, пройденных по сплошной руде.

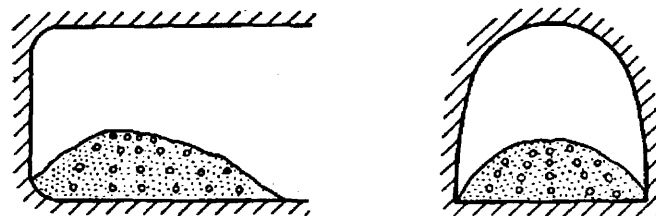


Рис. 4.1.5. Расположение точечных проб в навале отбитой руды у забоя

Одной из разновидностей точечного способа является способ **вычерпывания**, который применяется для опробования навалов отбитой руды. Так же, как при горстьевом способе, на навал, предварительно выровненный для уменьшения его высоты, набрасывают веревочную сеть и из центров или узлов ее отбирают порции, которые в отличие от горстьевого способа отбираются не по одному кусочку, а до дна навала (рис. 4.1.6). Такой прием обеспечивает равномерность опробования как легкой фракции, так и глыб, что повышает представительность проб. Обычно при равномерном распределении полезного компонента отбира-

ют 12–16 порций по 50 г каждая; при неравномерном распределении — 20–25 порций по 100 г, а в случае весьма неравномерного распределения полезного компонента число порций увеличивается до 35–50, а их масса — до 200 г. Способ не очень удобен, отбор материала в виде лунок часто невозможен из-за наличия крупных глыб, поэтому он редко применяется.

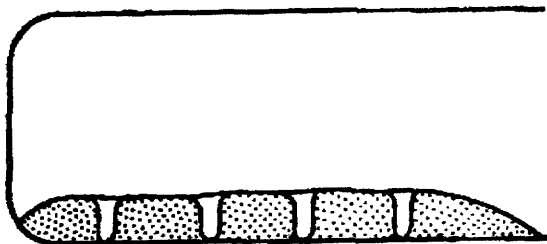


Рис. 4.1.6. Расположение лунок при опробовании навала руды по способу вычерпывания

Выбор способа отбора проб имеет немаловажное значение в разведочном процессе. Как правило, выбранный в начале разведочных работ, способ опробования сохраняется до их завершения, это необходимо для получения сопоставимых материалов по разным участкам рудного тела, сортам и типам руд, опробованным в разное время (в полном соответствии с принципом равной достоверности). Способ пробоотбора должен быть наиболее простым, удобным, дешевым и в то же время обеспечивать достоверность и надежность проб.

Ведущую роль в выборе способа отбора проб играют некоторые геологические особенности изучаемого месторождения и в первую очередь текстурные особенности руд, мощность рудных тел, характер распределения полезного компонента, крепость руд.

Опробование по минеральному составу

Качество руды и приближенное количественное содержание полезных компонентов в ней можно определить по минеральному составу. Известно несколько приемов такого минералогического опробования: 1) по

типам руд; 2) шлиховым минералам; 3) люминесцентное и 4) по оценке площади рудных минералов.

Опробование **по типам руд** служит для ориентировочной оценки содержаний полезных компонентов. Оно заключается в том, что по данным тщательной документации забоя или стенки выработки, вскрывающей рудное тело, выделяются типы руд, замеряются площади, сложенные каждым типом, а затем подсчитываются содержания компонентов, на основе тех данных, которые ранее по химическим анализам установлены для всех типов руд данного месторождения. Как правило, при разведке месторождений создаются эталонные коллекции типов руд, для которых определяются средние содержания полезных компонентов.

Опробование **по шлиховым минералам** сводится к тому, что из материала пробы при его дроблении и промывке получают шлик, проводят количественный минералогический анализ и пересчитывают содержание рудных минералов на содержание металлов. Этот способ применяется для быстрой оценки качества минерального сырья еще до выполнения химических анализов на некоторых типах месторождений преимущественно вкрапленных руд.

Люминесцентное опробование применяется для ориентировочной оценки качества руды, ценные минералы которой светятся в ультрафиолетовых, катодных или рентгеновских лучах, и осуществляется путем облучения руды (переносной лампой в забое выработки) и подсчета светящихся минералов.

Опробование **по оценке площади рудных минералов** основано на количественном минералогическом анализе руд в шлифах или аншлифах и пересчете количества рудных минералов на содержание металлов.

Все перечисленные способы опробования руд по минеральному составу позволяют получить лишь приблизительную оценку качества минерального сырья.

Определение расстояний между пробами

Тела полезных ископаемых по направлению мощности (т. е. направлению максимальной изменчивости) опробуются непрерывно. Например, при бороздовом

опробовании даже очень мощных рудных тел проба берется в виде непрерывной борозды, которая может быть разделена на отдельные секции.

По направлениям простирания и падения тел пробы обычно располагаются на некотором расстоянии одна от другой. Выбор расстояний между пробами в первую очередь зависит от степени равномерности распределения полезного компонента. При этом на месторождениях с выдержанным оруденением и равномерным распределением металла пробы отбираются реже, расстояния между ними больше; а на месторождениях с неравномерным и весьма неравномерным распределением металла сеть опробования сгущается, расстояния между ними уменьшаются. При выборе расстояний между пробами можно ориентироваться на данные, приведенные в табл. 4.1.1, в основу которой положен большой фактический материал.

Зависимость расстояний между пробами от величины основного показателя изменчивости — коэффициента вариации — можно представить в виде графика (рис. 4.1.7) и выразить в виде эмпирической формулы $l = 200 / V$, где l — расстояние между пробами, а V — коэффициент вариации содержания полезного компонента.

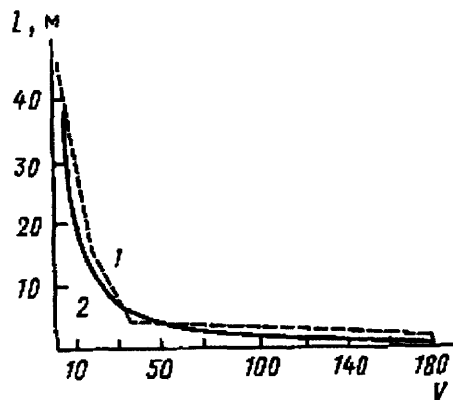


Рис. 4.1.7. Зависимость расстояний между пробами от коэффициента вариации содержания полезного компонента (по А. Прокофьеву):
1 — по таблице; 2 — по формуле

Таблица 4.1.1

Расстояния между пробами (по В. Смирнову)

Группа месторождений	Характер распределения металла, подлежащего определению	Коэффициент вариации содержания этого металла	Тип месторождения	Расстояние между пробами, м
I	Весьма равномерный	До 20	Морские осадочные месторождения железа и марганца	50–15
II	Равномерный	20–40	Осадочные месторождения железа, марганца, бокситов, некоторые метаморфические месторождения железа	15–4
III	Неравномерный	40–100	Большинство месторождений цветных металлов, некоторые месторождения редких металлов	4–2,5
IV	Весьма неравномерный	100–150	Преимущественно месторождения редких металлов, а также золота	2,5–1,5
V	Крайне неравномерный	Более 150	Некоторые месторождения золота и редких металлов	1,5–1

Указанный способ оценки расстояний между пробами может дать лишь ориентировочные результаты, которые корректируются с учетом других данных. В наиболее ответственных случаях рекомендуется определять расстояния между пробами экспериментально методом разрежений.

Для ориентировочной оценки расстояний между пробами иногда используют статистические характеристики. Известно, что относительная величина погрешности определения среднего содержания P определяется по формуле $P = Vt / \sqrt{n}$, где V — коэффициент вариации содержания полезного компонента; t — коэффициент вероятности, принимаемый для данных расчетов часто за 1, что соответствует вероятности 0,68; n — число проб.

Задаваясь определенной допустимой величиной погрешности, можно рассчитать число проб, обеспечивающее вычисление среднего содержания с ошибкой, не превышающей заданную: $n = V^2 t^2 / P^2$.

Число проб помимо этого может быть выражено как отношение длины опробуемого интервала L к расстоянию между пробами l : $n = L / l$. Из этих двух выражений следует, что расстояние между пробами определяется как $l = P^2 L / V^2$. В этом выражении некоторой неопределенностью отличается величина L . При разведочных работах за L рекомендуется принимать суммарную длину горных выработок, в пределах которых по данным опробования должно быть установлено среднее содержание с допустимой погрешностью.

Отбор проб при бурении разведочных скважин

При бурении разведочных скважин отбор проб сопряжен с определенными особенностями и трудностями: 1) стенки скважин недоступны для осмотра; 2) повторный отбор проб затруднен, а в большинстве случаев невозможен; 3) количество материала, поступающего в пробу, ограничено.

В зависимости от видов бурения (колонкового, ударно-канатного, роторного, разных способов бурения неглубоких скважин) различаются способы отбора проб.

При **колонковом бурении** могут применяться различные способы. В тех случаях, когда получают керн

хорошего качества при достаточно высоком выходе (удовлетворительным считается выход керна не ниже 70 — 75 %), пробы отбираются из керна, представляющего собой в данном случае наиболее ценный для опробования материал. Эти пробы пригодны для химических, минералого-петрографических и технических испытаний, они в большинстве случаев весьма представительны для изучения структурных и текстурных свойств руд.

Перед опробованием керн измеряют, взвешивают и тщательно документируют. Керн разделяют на интервалы, отвечающие отдельным пробам. Интервалы выделяются в соответствии с изменчивостью тела полезного ископаемого и возможностью выделения зон, сложенных разными типами руды или минеральными, текстурно-структурными разновидностями и т. д. Поскольку разведочные скважины всегда ориентированы по направлению наибольшей изменчивости (или близки к этому направлению), схема опробования их по существу подобна секционному бороздовому опробованию в выработках. В пробу идет часть керна: отбор проб производят, раскалывая керн вручную или керноколом или распиливая его (что предпочтительнее) вдоль оси на две части. Половина идет в пробу, вторая распиливается в свою очередь на две части: одна из которой хранится в качестве дубликата, другая поступает в объединенную из нескольких скважин технологическую пробу или используется для изготовления шлифов, аншлифов, образцов и т. д. Иногда в пробу берут не половину, а несколько меньшую часть керна, в ряде случаев керн опробуют, вырезая продольную узкую борозду.

В современных условиях колонковые скважины все чаще используют для отбора технологических проб. В этом случае в пробу объединяется весь рудный керн из нескольких, специально пробуренных скважин.

Если при разбуривании тел полезных ископаемых не удастся добиться удовлетворительного выхода керна, для получения надежных данных по содержанию полезных компонентов попутно с керном опробуют и шлам. Шлам в обязательном порядке опробуют и в тех случаях, когда выход керна достаточно высок, но устанавливается факт избирательного его истирания. Проба шлама составляется из материала, осадившегося в

течение данного рейса в шламовой трубе, и материала, собираемого из отстойников (в данном случае приходится применять специальные меры для улавливания, сохранения и опробования буровой мути с каждого интервала проходки скважины). Пробы шлама представляют собой менее ценный материал, чем керна, из-за засорения примесями, неполного улавливания, а также практической невозможности разделения на секции, соответствующие секциям керна. Тем не менее в случае избирательного истирания в кернах мягких или хрупких частей, сложенных богатыми или бедными рудными скоплениями, приводящему к заметному обогащению или обеднению проб керна, сбор шлама обязателен при любом выходе керна, не достигающем 100 %.

При опробовании керна и шлама среднее содержание полезного компонента вычисляется по данным обеих проб пропорционально их объемам:

$$C = C_k \frac{lkd^2}{lnD^2} + C_{ш} \left(1 - \frac{lkd^2}{lnD^2} \right),$$

где C — среднее содержание компонента в данном интервале; C_k — содержание компонента в керовой пробе; $C_{ш}$ — содержание компонента в пробе шлама; D — диаметр скважины, мм; d — диаметр керна, мм; ln — длина опробуемого интервала; lk — длина керна.

Отбор проб при **ударно-канатном бурении**. Ударно-канатное бурение широко используется при разведке разнообразных месторождений, преимущественно крупных штокверковых залежей меди, молибдена, олова, вольфрама и др. Материалом опробования, естественно, служит шлам. Механическое ударно-канатное бурение характеризуется относительно высокой производительностью и обычно большими диаметрами, поэтому с каждого буренного метра получают от 45 до 220 кг и более довольно тонкого и хорошо перемешанного материала, который идет в пробу полностью или может быть сокращен.

Шлам, отбираемый при канатном бурении, может загрязняться материалом из верхних частей скважины. Во избежание связанных с этим погрешностей опробования скважина изолируется обсадными трубами. Обязательна обсадка труб перед началом бурения

по рудному телу, а также по отдельным мощным зонам его, обладающим различной концентрацией металла. При опробовании скважины после каждого периода работы долота необходима тщательная очистка забоя; наиболее полное удаление шлама с забоя обеспечивается использованием поршневой желонки.

При механическом ударном бурении наиболее трудной задачей является отбор секционных проб, которые должны соответствовать разнородным зонам залежей. Для этих целей используют комплексный каротаж скважин, а также косвенные признаки — изменение скорости бурения в зависимости от различной крепости пород и руд, окраску шлама или буровой мути.

При **ротормом бурении** сплошным забоем шлам собирают в специальных отстойниках, где его по отдельным интервалам смешивают и сокращают и отбор проб можно осуществлять различными пробоотборниками-грунтоносами.

Существенным недостатком такого опробования, особенно при бурении глубоких скважин, является отставание тяжелых частиц от легких при их выносе на поверхность, что искажает состав проб, создает большие трудности в привязке полученного шлама к тому или иному интервалу проходки. Это является одной из причин ограниченного применения роторного бурения сплошным забоем для разведочных целей.

Отбор проб при **бурении неглубоких скважин**. Бурение неглубоких скважин осуществляется разнообразными способами: колонковым, ударным, шнековым, вибрационным и др. Технические средства отбора проб зависят от способа бурения и также весьма разнообразны. Однако определяющими факторами в отборе проб из неглубоких скважин являются геологические и горнотехнические особенности опробуемого объекта. В основном неглубокими скважинами разведываются месторождения коры выветривания, россыпные, некоторые типы нерудных месторождений, в частности стройматериалов.

Буровая разведка и опробование сильно обводненных россыпных месторождений возможна только при опережающей обсадке скважин обсадными трубами. При опробовании россыпей отбирают секционные пробы, которые дают возможность установить мощ-

ность «пласта» и перекрывающих «торфов», положение плотика, наличие ложных плотиков и т. д.

Опробование россыпей, разведываемых буровыми скважинами, обычно сопровождается заметными погрешностями — систематическим занижением содержания полезного компонента. Это связано с тем, что обсадка скважин и долочение крупных валунов вызывает сотрясение рыхлого материала и перемещение вниз тяжелых частиц, вследствие чего определяемая по данным опробования мощность пласта уменьшается.

Кроме того, часть рыхлого материала при долочении может отжиматься в затрубное пространство, а в сильно обводненных отложениях, наоборот, поступать в скважину из заглубленного пространства.

В связи с недостаточно надежными данными буровой разведки россыпей результаты опробования буровых скважин требуют систематического контроля путем проходки и опробования сопряженных со скважинами шурфов. В результате устанавливается поправочный коэффициент, обычно превышающий единицу.

При бурении и опробовании кварцевых, стекольных, формовочных и строительных песков, суглинков, иногда диатомита, трепела и других сыпучих, сухих и влажных, но не обводненных полезных ископаемых в качестве рабочего наконечника применяют ложку. Достоверность опробования обеспечивается при условии, если обсадные трубы опережают забой скважины. Поднятый буровой ложкой материал высыпается на деревянный щит; после просмотра и документации в одну пробу объединяется материал с нескольких забурок. Длина пробы зависит от строения залежи и колеблется от 0,5 до 2,0 м. Иногда для опробования используются грунтоносы.

При бурении и опробовании каолинов, различных глин и глиноподобных материалов, некоторых адсорбентов, иногда силикатных никелевых руд в качестве рабочего наконечника применяют змеевики и шнеки. При подъеме материал загрязняется вышележащими породами и его необходимо по возможности очищать. После этого его просматривают и документируют. В зависимости от мощности и строения залежи отбираются секционные пробы. Длина секций колеблется от 0,5 до 2,0 м и более. Отбор проб может осуществляться и различными грунтоносами.

4.2. Обработка и сокращение химических проб

Начальная масса химических проб зависит от способа пробоотбора и колеблется в широких пределах — от 0,5 до 50 кг и более. Для химического анализа с учетом дубликатов требуется от 50 до 200 г материала (для анализа на благородные металлы требуются пробы большей массы). В связи с этим пробы подлежат сокращению. При этом сокращение начальных масс проб до конечных, отправляемых в лабораторию, должно быть выполнено так, чтобы содержание металла (или минерала) в конечной пробе было равно содержанию его в начальной пробе. Это достигается предварительным, до сокращения, повышением равномерности содержания металла в ней путем измельчения и тщательного перемешивания. Раздробленная и перемешанная проба может быть сокращена сразу или в несколько приемов. В этом случае материал дробится до определенного размера кусков и сокращается, затем оставшаяся часть вновь дробится до меньших размеров кусков и вновь сокращается и т. д. до конечной массы пробы. Размер кусков пробы, при котором возможно ее сокращение, контролируется просеиванием на ситах. Все операции по дроблению, просеиванию и сокращению материала проб производят в определенной последовательности по заранее составленной схеме. Для составления такой схемы используют зависимость между массой пробы (в кг) и диаметром наибольших ее частиц, при которой сохраняется представительность пробы. Такая зависимость выражается формулой $Q = Kd^2$ (известной как формула Чечота — Ричардса, названная по именам русского и английского исследователей, обосновавших ее использование), где Q — масса пробы, кг; d — диаметр наибольших частиц, мм; K — коэффициент, характеризующий степень равномерности распределения полезного компонента в руде. Величина коэффициента колеблется от 0,25 до 1.

Дробление проб производится на специальных лабораторных дробилках различных конструкций в зависимости от крупности материала. Перемешивание осуществляется перелопачиванием, способом «кольца и конуса», в шаровых мельницах. Для деления — квартования проб используют ящичные, конусные делители.

Таким образом, обработка и сокращение проб ведется в такой последовательности: 1) подбирается коэффициент K , обеспечивающий правильное сокращение начальных масс проб и представительность конечных масс, направляемых для лабораторных анализов; 2) составляется общая схема обработки и сокращения проб; 3) производится измельчение материала пробы (дробление) до размера, при котором осуществляется первый этап сокращения; 4) проверка полноты измельчения осуществляется грохочением (просеиванием); 5) перемешивается измельченный материал для сообщения ему равномерности; 6) производится сокращение пробы до предельной массы (промежуточной, иногда — конечной); 7) дробление, просеивание, перемешивание и квартование повторяются до получения конечной навески. Пример последовательности операций при сокращении проб приведен на схеме (рис. 4.2.1).

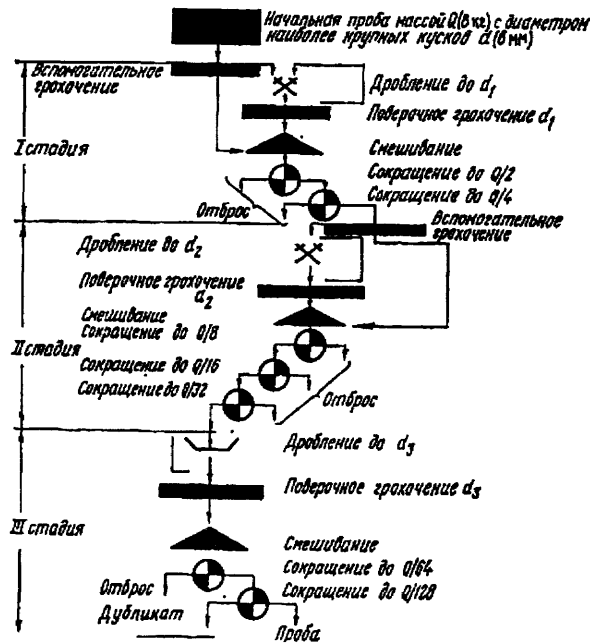


Рис. 4.2.1. Схема обработки пробы, рассчитанная по формуле $Q = kd^2$

4.3. Достоверность и представительность проб

Два основных понятия используют для характеристики качества опробования, его точности и надежности: достоверность и представительность проб.

Под **достоверностью пробы** понимается степень соответствия значения признака (в частности, содержания полезного компонента), показанного пробой, реальному значению этого признака в объеме пробы. Более строгое определение этому понятию дано Л. Четвериковым: под достоверностью понимается та точность, с которой данная проба фиксирует значение признака в области замера, т. е. в том объеме, который в идеальном случае должна иметь сплошная проба или из которого отобрана составная проба. Достоверность проб должна обеспечивать получение несмещенной оценки среднего содержания с заданной точностью и вероятностью.

Количественным выражением достоверности пробы является ее техническая ошибка, которая складывается из погрешности отбора материала пробы, погрешности его обработки и погрешности анализа:

$$\alpha_q = \sqrt{\alpha_o^2 + \alpha_c^2 + \alpha_a^2},$$

где α_q — техническая ошибка пробы; α_o — погрешность отбора; α_c — погрешность обработки (сокращение); α_a — погрешность анализа.

Погрешности могут быть случайными и систематическими. Случайные погрешности снижают точность оценок средних содержаний в подсчетных блоках, однако с возрастанием числа наблюдений эти оценки приближаются к истинным. Отрицательное влияние случайных погрешностей тем сильнее, чем меньше число единичных наблюдений и выше уровень погрешностей. Поэтому величины случайных погрешностей не должны превышать установленных пределов.

Систематические погрешности опробования возникают в результате направленного однозначного действия каких-либо факторов в процессе отбора, обработки или анализов проб и характеризуются постоянным знаком. При наличии систематических погрешностей независимо от числа наблюдений средние результаты будут либо завышены, либо занижены по сравнению с истинными.

Систематические погрешности являются наиболее опасными, каких-либо допустимых величин систематических ошибок нет и не может быть установлено. Систематическая ошибка в любую сторону (+ или –) недопустима. В каждом конкретном случае должна быть точно установлена величина систематической погрешности, выявлены и устранены причины, вызывающие ее.

Представительностью пробы принято называть степень соответствия содержания компонентов в пробе содержанию их в том объеме тела полезного ископаемого, на который распространяются данные этой пробы. Поэтому одна и та же проба обладает разной представительностью в зависимости от того, на какой объем тела распространяются ее данные. В этом понимании для оценки представительности пробы необходимо знать истинное среднее содержание компонента в соответствующем объеме, что невозможно. Поэтому, по предложению Л. Четверикова, следует оценивать вероятную представительность проб данного вида в пределах какого-либо геологически однородного блока. В этом случае термин «представительность пробы» можно определить как возможную точность в ее вероятностном выражении, с какой полностью достоверная проба представляет выделяемую часть объекта опробования (т. е. выделяемый блок рудного тела).

В качестве количественного показателя представительности пробы используется в общем виде погрешность аналогии пробы, т. е. вероятностная оценка коэффициента вариации случайной составляющей содержания по пробам в пределах геологически однородного блока: $\alpha_n = tV_o$, где α_n — представительность пробы (погрешность аналогии); t — коэффициент вероятности (степень принимаемой вероятности оценки погрешности аналогии); V_o — коэффициент вариации содержания в пробах данного вида в пределах конкретного блока.

4.4. Контроль опробования

Для выявления уровня случайных погрешностей и получения надежных данных, подтверждающих отсутствие систематических погрешностей, все основные

операции по опробованию подвергаются обязательно контролю. Достоверность результатов опробования устанавливается по отсутствию систематических погрешностей, а их точность — по уровню средних случайных погрешностей.

Контроль пробоотбора

Погрешность пробоотбора может быть вызвана разными причинами: небрежностью отбора материала, использованием несовершенных инструментов и способов, свойствами объекта, например различной хрупкостью минералов, слагающих руду. Случайные погрешности пробоотбора возникают в связи с несовершенством способов отбора материала проб от монолитных пород, а систематические погрешности — в связи с резкими различиями физико-механических свойств полезных минералов, жильных минералов и вмещающих пород, что приводит к избирательным потерям хрупкого материала (или к обогащению им) в процессе пробоотбора. Оценка величины погрешности отбора проб осуществляется специальными мероприятиями по контролю пробоотбора, которые проводятся по трем направлениям. 1. Постоянно производится проверка фактической массы отобранных проб путем сопоставления ее с теоретической массой, рассчитанной для предусмотренного заданием объема проб. Допустимыми считаются отклонения, не превышающие $\pm 10 - 20\%$. 2. Независимо от степени совпадения теоретической и практической масс проб периодически (один раз в квартал или полугодие) проводится контрольный отбор проб под строгим геологическим надзором. Отбирается не менее 20 – 30 проб в тех же местах, где отбирались основные (рядовые) пробы. Результаты контрольного опробования сопоставляются с рядовым для определения случайных погрешностей. 3. Во всех ответственных случаях для надежной оценки качества минерального сырья и выявления возможных систематических погрешностей пробоотбора производят контрольное опробование другим, более надежным способом по сравнению с принятым основным. Чаще всего используют валовые

вый способ, реже задиrkовый, или бороздовый, с большим сечением борозды.

Для контроля керновых проб используются скважины ударно-канатного бурения или отбор проб в специально пройденных горных выработках. Сопоставляя результаты основных и контрольных проб, вычисляют систематическую ошибку в абсолютном и относительном выражении для введения соответствующих поправок к результатам основного опробования.

Количество контрольных проб во всех случаях зависит от изменчивости содержания полезного компонента и определяется самостоятельно для каждой разновидности руды.

Контроль обработки проб

Контроль обработки проб сводится к выявлению погрешности обработки, которая представляет собой разницу между фактическим содержанием в исходном материале пробы и содержанием в анализируемой части этого материала после его сокращения. Ошибка обработки может быть случайной и закономерной, будучи обусловлена как факторами технического, так и методического порядка.

Существуют три возможных способа эмпирической оценки ошибки обработки.

1. Получив основную навеску, оставшийся после обработки материал собирают вместе и по той же схеме, но с максимальной тщательностью проводят повторную операцию, в результате которой выделяется дополнительная — контрольная навеска. Расхождения между содержаниями в основной и контрольной навесках принимаются за ошибку обработки.
2. Оставшийся после получения основной навески материал дробится до возможно полного его вскрытия, и затем квартованием или делением на механическом сократителе выделяется контрольная навеска, которую можно рассматривать как практически лишенную ошибки обработки. Ошибка обработки и в этом случае определяется как расхождение между основной и контрольной навесками.

3. Методически наиболее правильным является третий способ. Принцип его заключается в получении контрольных навесок после каждого этапа сокращения материала пробы в процессе его обработки. При такой методике есть возможность установить, на каком этапе обработки пробы возникает погрешность, и выяснить причины этого явления.

Контроль анализов

Достоверность химических анализов устанавливается при контрольных мероприятиях, направленных на выявление погрешностей.

Случайная погрешность — наиболее распространенная ошибка химического анализа. Она является результатом частных, непостоянно действующих факторов при анализе в каждом конкретном случае. Величина случайной погрешности — одна из характеристик качества работы лаборатории. Она может быть выявлена и оценена при внутреннем контроле, произведенном в той же лаборатории, где выполняются основные анализы рядовых проб. Контроль состоит в том, что лаборатория выполняет анализы некоторого количества дубликатов проб. Абсолютная величина средней случайной погрешности определяется как среднее арифметическое расхождений между содержаниями полезного компонента в основных и контрольных пробах без

учета знака отношения: $\Delta = \frac{\sum \Delta_i}{n}$.

Обычно в практике опробования используют относительную величину случайной погрешности:

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta}{C_0} 100\%,$$

где C_0 — среднее содержание, вычисленное по основным пробам. Таким образом, относительная случайная погрешность зависит от уровня содержания полезного компонента в пробах. Поэтому при организации внутреннего контроля необходимо группировать пробы по классам содержаний. Для каждого класса величина

относительной случайной погрешности не должна выходить за допустимые пределы, установленные для каждого вида минерального сырья.

Внутренний контроль — обязательная операция, выполняемая в процессе опробования месторождения регулярно (1–2 раза в полугодие), для всех типов руд, уществующих месторождения, классов содержания.

Систематическая погрешность — результат постоянного действующего фактора, поэтому относится к ошибкам методического характера. Эти ошибки наиболее опасны, для них каких-либо допустимых пределов не существует. Использование рядовых анализов, несущих в себе систематическую погрешность, для оконтуривания и подсчета запасов всегда приводит к ошибкам и поэтому не допускается. Если выявляется наличие систематической ошибки, должна быть установлена и устранена вызывающая ее причина.

Выявление систематической ошибки проводится внешним контролем. Отобранные для контроля пробы передаются в химическую лабораторию, зарекомендовавшую себя высоким уровнем работы и имеющую соответствующий статус. Отбор материала для контроля производится из остатков рядовых проб, хранящихся в основной лаборатории. Набирать материал из дубликатов не рекомендуется, т. к. в этом случае на выявляемые погрешности анализов накладываются погрешности обработки проб.

Средняя абсолютная величина систематической погрешности определяется по формуле:

$$d = \sum d_i / n,$$

где d_i — расхождение между рядовой и контрольной пробами, суммируемые с учетом знака.

Средняя относительная систематическая погрешность равна

$$d_{\text{отн.}} = (d / C_o) \times 100 \text{ \%}.$$

Факт наличия систематической погрешности наиболее просто устанавливается в тех случаях, когда при сопоставлении результатов основных и контрольных проб отчетливо наблюдается преобладание одних знаков расхождения.

Значимость систематической погрешности определяется по величине коэффициента однородности $K_o = d / \Delta$.

При отсутствии систематической погрешности должно соблюдаться неравенство

$$K_o \leq \frac{2,45}{\sqrt{n}},$$

где величина 2,45 отвечает значению точки стандартного нормального распределения для доверительной вероятности 99 %, или, что то же самое, для 1 % уровня значимости; n — количество пар основных и контрольных анализов.

При обнаружении систематической погрешности, для того чтобы подтвердить результаты внешнего контроля, иногда возникает необходимость производства контрольных анализов в арбитражной лаборатории. После подтверждения достоверности контрольных анализов решается вопрос о применении поправочного коэффициента

$$K_o = \frac{C_k}{C_o}.$$

Внешний контроль также осуществляется систематически, не реже 1 раза в квартал; пробы группируются по классам содержаний, типам руд, времени производства анализов и др.

Список литературы

1. Авгонин В.В., Шатагин Н.Н. Решение геологоразведочных задач на ЭВМ. М.: Изд-во МГУ, 1989. 144 с.
2. Альбов М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1975.
3. Прерис А.М. Определение и учет ураганных проб. М.: Недра, 1974. 104 с.
4. Смирнов В.И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1957. 588 с.
5. Четвериков Л.И. Методологические основы опробования пород и руд. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1980. 124 с.

Разработка месторождений полезных ископаемых сопряжена с большими капиталовложениями. Вложенные в горную промышленность средства требуют определенных гарантий возврата. Поэтому, чтобы минимизировать неизбежно существующий экономический риск, необходимы достаточно надежные критерии оценки достоверности разведанных запасов.

Подсчет запасов полезных ископаемых осуществляется на основе единичных измерений размеров рудных тел и содержаний полезных компонентов в горных выработках и скважинах и интерполяции этих значений на пространство между ними, а также экстраполяции за пределы разведочных пересечений. Поэтому подсчитанные запасы всегда отличаются от реальных. Величина этого расхождения зависит, с одной стороны, от сложности строения рудных тел, неравномерности распределения в них полезных компонентов, а с другой — от детальности разведки. Из этого следует очевидное давно известное правило: чем неравномернее рудные тела по морфологии и распределению металлов и чем меньше детальность разведки, тем ниже достоверность цифр подсчитанных запасов.

По степени достоверности величин разведанных запасов они подразделяются на ряд категорий запасов. Такое разделение запасов по степени их достоверности, разведанности и изученности называется классификацией запасов.

В настоящее время различные, но общие по своим принципам классификации запасов существуют во

всех странах с развитой горнодобывающей промышленностью. При этом классификации постоянно совершенствуются.

В нашей стране действует «Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденная в 1997 г. Классификация определяет единые принципы подсчета, оценки и государственного учета запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых в недрах по степени их изученности и экономическому значению.

По степени изученности выделяются запасы и прогнозные ресурсы.

Запасы полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных работ и по степени разведанности подразделяются на четыре категории: А, В, С₁ и С₂. При отнесении запасов к той или иной категории решающими условиями являются: 1) достоверность количества подсчитанных запасов; 2) полнота изучения качества и технологии переработки полезного ископаемого; 3) степень исследования природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ, в первую очередь степень изученности гидрогеологии.

К категории А относятся запасы, для которых установлены размеры, форма и условия залегания тел, оконтурены безрудные и некондиционные участки, выделены и оконтурены технологические типы и сорта руд, изучены содержания и распределение попутных ценных и вредных компонентов. Предусматривается 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 существенные детали условий залегания и контуров тел полезных ископаемых, а детальность выяснения морфологических особенностей и строения залежей должна обеспечивать единственно возможный вариант увязки разведочных данных по смежным горным выработкам и скважинам. Оценка и оконтуривание запасов категории А производится по

предельно густой сети разведочных выработок только путем интерполяции данных между смежными пересечениями (рис. 5.1).

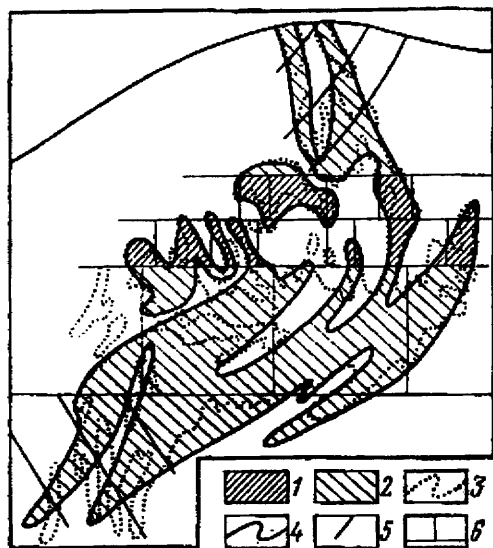


Рис. 5.1. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категорий А и В (по А. Кажгану):

- 1 — запасы категории А; 2 — запасы категории В; 3 — истинные контуры рудной залежи; 4 — контуры разведанных запасов; 5 — разведочные скважины; 6 — разведочные горные выработки

Для отнесения запасов к категории В необходимо выяснение основных особенностей формы, строения и условий залегания тел полезных ископаемых, основных закономерностей пространственной изменчивости, основных особенностей размещения участков, сложенных различными природными типами и сортами, а также участков пустых пород и некондиционных минеральных скоплений. Оконтуривание запасов категории В проводится по регулярной разведочной сети путем интерполяции разведочных данных между смежными пересечениями (рис. 5.1). При сравнительно простом геологическом строении тел допускается незначительная экстраполяция данных за пределы разведанного объема.

Так, для запасов, относимых к категории C_1 , требования еще более снижаются: в этом случае должны быть выяснены размеры, характерные формы тел, основные особенности условий их залегания, оценены изменчивость и возможная прерывистость тел; выявлены природные разновидности, технологические типы полезного ископаемого и установлены общие закономерности их размещения. Для оценки запасов категории C_1 не требуется оконтуривание безрудных участков и участков, сложенных различными сортами и типами полезного ископаемого, достаточно определение их количественных соотношений в общем промышленном контуре (рис. 5.2).

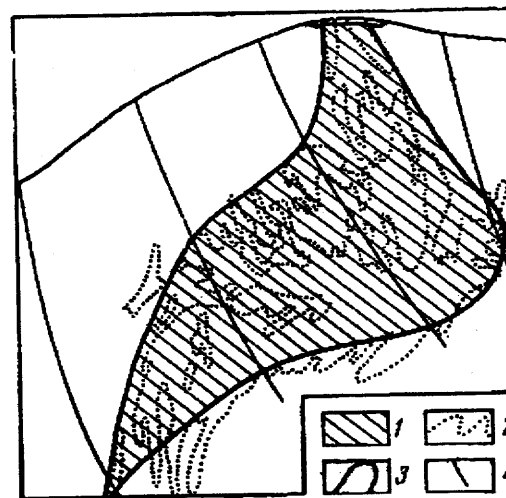


Рис. 5.2. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории C_1 (по А. Кажгану):

- 1 — запасы категории C_1 ; 2 — истинные контуры рудной залежи; 3 — контуры разведанных запасов; 4 — разведочные скважины

Запасы категории C_2 оцениваются по геологическим и геофизическим данным и подтверждаются вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок (рис. 5.3). К запасам категории C_2 могут быть отнесены запасы неразведанных участков, примыкающих к разведанным участкам (рис. 5.4).

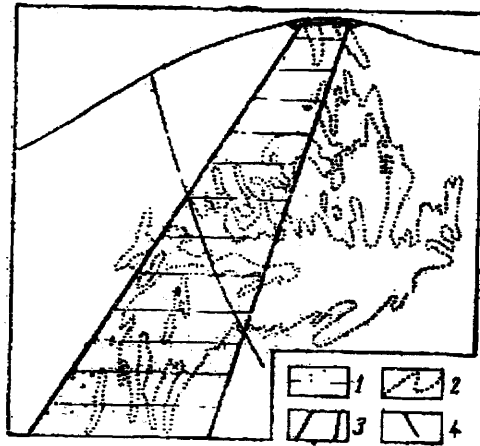


Рис. 5.3. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории C_2 на основании единичных разведочных пересечений (по А. Каждану):
1 — запасы категории C_2 ; 2 — истинные контуры рудной залежи; 3 — контуры разведанных запасов; 4 — разведочные скважины

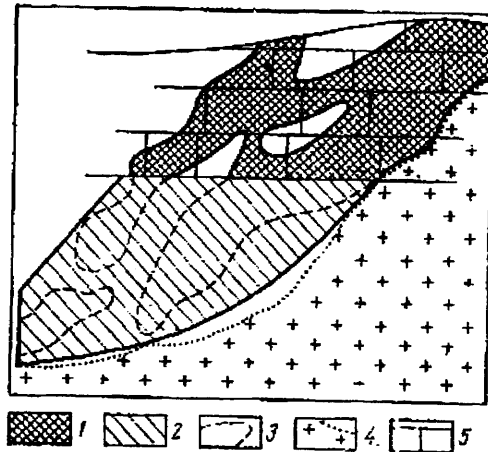


Рис. 5.4. Схема, иллюстрирующая возможность оконтуривания запасов категории C_2 по аналогии с детально изученными участками (по А. Каждану):
1 — детально разведанные запасы; 2 — предварительно оцененные запасы (категория C_2); 3 — истинные контуры залежи; 4 — граниты и их контакт с вмещающими породами; 5 — горные выработки

В зависимости от сложности строения месторождений на них могут выделяться либо все четыре категории запасов (A , B , C_1 и C_2), либо только три (B , C_1 и C_2) или две (C_1 и C_2). При этом запасы высших категорий выделяются на участках детализации, являющихся эталонными для данного месторождения.

Прогнозные ресурсы предположительно оцениваются на основе геологических предпосылок, выявленных при оценочных, поисковых и геолого-съёмочных работах, и по степени их обоснованности подразделяются на категории P_1 , P_2 , P_3 . Прогнозные ресурсы категории P_1 учитывают возможность выявления новых рудных тел на уже известных месторождениях. Оценка ресурсов основывается на геологических, геофизических, геохимических соображениях, на материалах одиночных скважин и геологической экстраполяции данных, установленных на изученном месторождении. Прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_3 оцениваются для бассейнов, районов, узлов, рудных полей (P_2) или геологически благоприятных территорий (P_3), т. е. связываются с еще не открытыми месторождениями. Количественная оценка ресурсов основывается на аналогии с известными месторождениями того же геолого-промышленного типа.

По экономическому значению запасы подразделяются на балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические).

Балансовые запасы подразделяются на: а) экономические, извлечение которых экономически эффективно; б) гранично-экономические, извлечение которых не обеспечивает экономическую эффективность, но становится возможным при определенной государственной поддержке (налоговые льготы, субсидии и т. п.).

К забалансовым запасам относятся: а) запасы, отвечающие требованиям к балансовым запасам, но использование которых на момент оценки невозможно по горнотехническим, правовым, экологическим обстановкам; б) запасы, извлечение которых на момент оценки нецелесообразно вследствие низкого содержания полезного компонента, малой мощности тел и т. д., но может стать экономически эффективным при повышении цен на

ресурсы или техническом прогрессе, обеспечивающем снижение издержек производства (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Классификация запасов и ресурсов твердых полезных ископаемых РФ

Экономические запасы	Балансовые запасы категорий A + B + C ₁	Балансовые запасы категории C ₂	Прогнозные ресурсы P ₁ , P ₂ , P ₃
Гранично-экономические запасы			
Потенциально-экономические запасы	Забалансовые запасы категорий A + B + C ₁ + C ₂		

В последние годы была произведена большая работа под эгидой ООН по созданию универсальной системы, которая на единых критериях рыночной экономики обеспечивала бы сопоставимость и совместимость существующих в различных странах классификаций запасов. В 1997 г. Экономическим и социальным советом ООН был одобрен проект рамочной классификации запасов и ресурсов твердых полезных ископаемых (Заборин, Коткин, 1999). Она основана на квалификации запасов/ресурсов по трем укрупненным характеристикам: 1) степени геологической изученности (этапу геологической оценки); 2) уровню технико-экономической изученности; 3) степени экономической эффективности.

Графически этот подход иллюстрируется трехмерной моделью, каждая из осей которой отвечает одному из указанных показателей.

Степень геологической изученности запасов отражается на оси G четырьмя последовательными этапами геологической оценки: рекогносцировка, поиски, предварительная разведка, детальная разведка. Им соответствуют категории запасов различного уровня достоверности.

Экономическая и технологическая изученность запасов отражается на оси F тремя последовательными этапами оценки технико-экономической обоснованности их разработки: 1) начальная оценка на основе

геологических параметров (разработка технико-экономических соображений — ТЭС); 2) предварительная оценка (технико-экономический доклад — ТЭД); 3) детальная оценка (технико-экономическое обоснование — ТЭО, или горный доклад).

Экономическая эффективность разработки запасов отражается на оси E тремя основными категориями — а) экономические, б) потенциально экономические в) возможно экономические.

Сопоставление рамочной классификации ООН и действующей Российской классификации запасов позволяет констатировать общее сходство предлагаемых подходов. Для каждой категории запасов (ресурсов), выделяемых в РК ООН, имеется соответствующий аналог в Российской классификации (рис. 5.5), что позволяет удовлетворительно вносить ее в предлагаемую РК ООН матрицу (Заборин, Коткин, 1999).

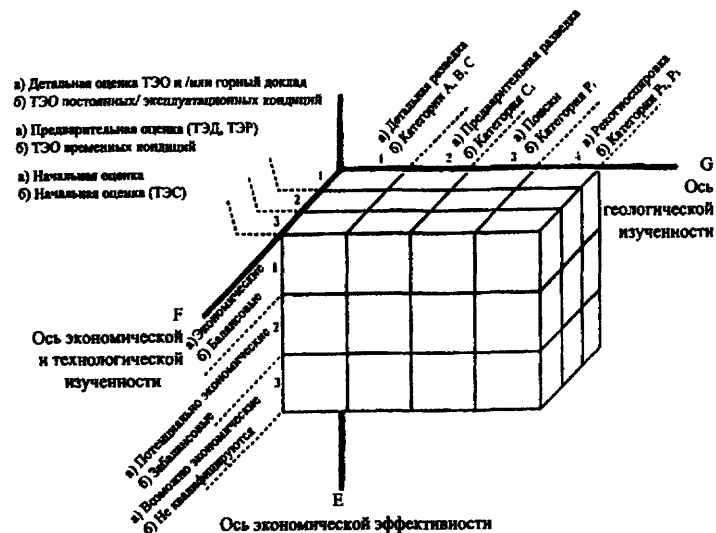


Рис. 5.5. Графическая модель Международной рамочной классификации ООН (по О. Заборину, В. Коткину): а — терминология Международной рамочной классификации ООН; б — терминология Российской классификации

Группировка месторождений для единых методов разведки

Мировой опыт разведки месторождений и практика оценки достоверности разведанных запасов позволили прийти к выводу о том, что огромное разнообразие месторождений может быть сведено в несколько групп, для которых разведка запасов одной и той же категории требует близких приемов разведки (Смирнов, 1957; Крейтер, 1964). Основными параметрами подобных группировок (имеются в виду прежде всего рудные месторождения) должны служить: размеры тел полезных ископаемых, устойчивость их морфологии, степень прерывистости и интенсивность изменчивости содержания полезного компонента.

Размеры рудных тел. По размеру их принято разделять на три группы: а) коренные, б) средние, в) мелкие.

Крупные тела — преимущественно пласты, штокерковые залежи, иногда штоки прослеживаются на многие сотни метров и на километры. Средние тела — линзы, жилы и другие залежи измеряются сотнями метров. Мелкие тела — шпирь, гнезда, мелкие жилы и трубообразные залежи имеют размеры в единицы — десятки метров.

Устойчивость морфологии тел. По степени устойчивости можно выделить три группы рудных тел: а) устойчивые, б) изменчивые, в) крайне изменчивые.

Примером устойчивых тел являются пласты и пластообразные залежи, которым свойственны лишь незначительные изменения мощности на больших расстояниях. Изменчивые залежи — жилы, линзы с частым чередованием раздувов и пережимов. Крайне изменчивые — мелкие жильные, трубообразные тела с резкими раздувами, пережимами, часто осложненные тектоническими нарушениями.

Непрерывность оруденения. Степень непрерывности или прерывистости характеризуется коэффициентом рудоносности, и по этому показателю могут быть выделены четыре группы залежей: а) непрерывные, б) слабопрерывистые, в) прерывистые, г) крайне прерывистые.

Коэффициент рудоносности представляет собой отношение количества руды, заключенной в отдельных

рудных обособлениях (гнездах, шпирях, прослоях, линзах), ко всему объему рудоносной залежи, зоны, в которой находятся эти обособления. Коэффициент рудоносности может быть: 1) линейным, определяемым как отношение длины интервалов с кондиционной рудой к общей длине выработок, пройденных по рудному телу; 2) площадным, определяемым как отношение площади, занятой рудой, ко всей площади рудоносной зоны; 3) объемным, определяемым по отношению суммарного объема рудных гнезд ко всему объему рудоносной зоны.

Непрерывные тела во всем своем объеме содержат промышленное оруденение и поэтому коэффициент рудоносности для них равен единице. В телах со слабопрерывистым оруденением наблюдаются незначительные перерывы в виде обособленных участков некондиционных руд или вмещающих пород. Коэффициент рудоносности для них колеблется в пределах от 0,7 до 1.

В прерывистых телах объем кондиционных руд соизмерим с объемом непромышленных участков, и коэффициент рудоносности изменяется от 0,4 до 0,7.

Крайне прерывистые тела представляют собой разобценные участки, гнезда, суммарный объем которых составляет менее половины общего объема тела. Коэффициент рудоносности в этих случаях имеет величину менее 0,4.

Равномерность распределения полезного компонента в рудах характеризуется величиной коэффициента вариации. Выделяются четыре группы месторождений с распределением полезного компонента: а) весьма равномерным и равномерным (коэффициент вариации ниже 40 %); б) неравномерным (40 — 100 %); в) весьма неравномерным (100 — 150 %); г) крайне неравномерным (коэффициент вариации более 150 %).

По перечисленным параметрам выделяются четыре группы месторождений различной степени сложности геологического строения.

К первой группе относятся месторождения (или их участки) простого геологического строения с крупными телами, устойчивой морфологией, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным рас-

пределением основных ценных компонентов. Это наиболее простые по условиям разведки месторождения. В процессе разведки таких месторождений выявляются запасы категорий А, В, С₁ и С₂. К этой группе относятся большинство месторождений углей, осадочные месторождения железа, марганца, месторождения горно-химического и технического сырья и стройматериалов.

Ко второй группе относятся месторождения средней сложности с крупными и средними телами, неустойчивой морфологией и внутренним строением, невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки выявляются запасы категорий В, С₁ и С₂; изученность, соответствующая категории А, не достигается.

К этой группе относятся платформенные осадочные месторождения железа, марганца, бокситов, колчеданные залежи, месторождения медистых песчаников, медно-никелевые месторождения, руды кор выветривания и др.

К третьей группе относятся месторождения высокой сложности геологического строения со средними и мелкими телами, интенсивно нарушенным залеганием, сильно изменчивой морфологией, невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно до категорий С₁ и С₂. К этой группе относится большинство месторождений редких металлов, золота, гидротермальные месторождения цветных металлов и др.

К четвертой группе относятся месторождения (участки) очень сложного строения с мелкими телами, чрезвычайно нарушенным залеганием, резко изменчивой морфологией, крайне неравномерным качеством, прерывистым, гнездовым распределением основных ценных компонентов. Это наиболее трудные для разведки объекты. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категории С₂.

К ним относятся месторождения камнесамоцветного и пьезооптического сырья, мелкие месторождения редких металлов и золота.

Принадлежность разведываемого месторождения к той или иной из перечисленных групп позволяет определить параметры плотности разведочной сети, необходимой для достижения требуемой категории запасов.

При проектировании разведочных работ, когда сведений о геологическом строении месторождения и свойствах полезного ископаемого еще очень мало, определение плотности разведочной сети проводится по аналогии с другими уже разведанными и освоенными месторождениями данного промышленного типа. Для этой цели следует пользоваться инструкциями ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям различных видов минерального сырья. Примеры плотностей разведочных сетей, применявшихся в недалеком прошлом для некоторых типов месторождений и не утративших своего значения до настоящего момента, приведены в табл. 5.2–5.4.

Надо заметить, что на ранних стадиях разведки месторождений ведущим фактором при формировании разведочной сети является морфогенетический тип данного месторождения. А. Каждан выделяет пять морфогенетических типов: 1) пластообразные месторождения; 2) плащеподобные и россыпные месторождения; 3) жильные и жилообразные месторождения; 4) трубообразные месторождения; 5) штокверковые и штокверкоподобные месторождения. Для каждой из этих групп в зависимости от размеров и других параметров рекомендуются ориентировочные размеры разведочных сетей для оценки запасов по категории С₁ (табл. 5.5–5.8).

В зависимости от особенностей месторождения (от принадлежности его к соответствующей группе, по классификации В.И. Смирнова) для подсчета запасов категории С₁ рекомендуется соответственно 5, 10, 20, 30 разведочных пересечений на подсчетный блок. Для подсчета запасов категорий А и В количество пересечений на блок увеличивается в 1,5–2 раза.

Таблица 5.2
Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке железорудных месторождений СССР

Группа месторождения	Структурно-морфологические типы рудных тел	Вид выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)					
			А		В		С ₁	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
1	Крупные горизонтально или полого залегающие пластовые залежи с устойчивыми мощностью и качеством руд	скважины	200	200	400	400	800	800
2	Крупные сложеноскладчатые или нарушенные разрывами пласто-, линзообразные залежи относительно сложного строения с выдержанным качеством руд	скважины	75-150		100-300	100-200	400-600	200-400
2а	Крупные и средние по размерам линзо-, штоко-, столбо-, трубообразные сложного строения или с невыдержанным качеством руд	— « —						
2в	Крупные и средние по размерам линзо-, штоко-, столбо-, трубообразные тела сложного строения или с невыдержанным качеством руд	— « —						
3	Средние и мелкие по размерам линзо-, видные залежи, жило-, столбообразные тела сложной формы с резко меняющимися мощностью и качеством руд	скважины				50-100	150-300	100-200
							50-100	50-100

ТАБЛ 5

ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ

Таблица 5.3
Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке месторождений марганцевых руд СССР

Группа месторождения	Структурно-морфологический тип рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м) для категорий запасов					
			А		В		С ₁	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
1	Весьма крупные пластообразные залежи простого строения	скважины	100-150	100-150	200-300	200-300	600	600
	Весьма крупные пластообразные залежи сложного строения				200	200	400	400
2	Крупные и средние пластообразные и линзообразные залежи сложного строения	скважины			50-100	50-100	100-200	100-200
3	Мелкие пластообразные и линзообразные залежи сложного строения	скважины			50-100	25-50	100	50-100

Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке оловорудных месторождений СССР

Группа месторождения	Характеристика рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработки (в м) для категорий запасов					
			В			С ₁		
			по простиранию	по падению	по простиранию	по простиранию	по падению	по падению
1	Крупные штокерки сложной формы или с неравномерным распределением олова	штольни, штреки, орты, горизонтальные скважины, восстающие скважины	30-40	60-80	—	—	—	—
2	Крупные минерализованные зоны или жилы с непостоянной, но сравнительно большой мощностью и неравномерным распределением олова	штольни, штреки, орты, горизонтальные скважины, восстающие скважины	20-30	60-80	—	—	—	—
3	Средние по размерам жилы, штокерки, минерализованные зоны небольшой мощности с неравномерным распределением олова	штольни, штреки, орты, горизонтальные скважины, восстающие скважины	—	—	—	—	—	—
			80-120	40-60	80-100	80-120	10-20	60-80
			—	—	—	—	80-120	40-50

Таблица 5.5
Ориентировочные расстояния между смежными разведочными пересечениями пластообразных залежей (категория С₁)

Тип залежи	Средняя мощность	Расстояния между разведочными пересечениями, м
I. Пластовые	более 100 м, десятки метров — метры	800-2000 400-800 200-400
II. Псевдопластовые в магматических породах	десятки метров — метры	300-600 200-300
III. Пластоподобные эпигенетические	десятки метров — метры	100-200 40-100

Таблица 5.6
Ориентировочные размеры разведочных сетей для оценки запасов плащеподобных и россыпных месторождений (категория С₁)

Тип месторождения	Средняя мощность	Показатель анизотропии формы	Размеры сети, м
Плащеподобные Железо и каолин Бокситы Силикатный никель	десятки метров метры метры — первые десятки метров	2-4 1-2 1-2	от 400 × 200 до 400 × 100 от 200 × 100 до 100 × 50 от 100 × 50 до 50 × 25
Россыпные I группа II группа III группа	метры то же — « —	10-20 10-20 10-20	от 800 × 80 до 800 × 20 от 400 × 40 до 400 × 20 от 200 × 20 до 200 (100) × 10

Таблица 5.7
Ориентировочные размеры разведочных сетей для жильных и жилообразных месторождений (категория С₁)

Тип месторождения	Средняя мощность жил	Технические средства	Размеры сети, м
Простые жилы барита, полевых шпатов, флюорита и др.	метры — десятки метров	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 линзо-подобные залежи	до десяти метров и более	скважины, штреки орты (скважины)	от 50 × 50 до 100 × 100 от 80 до 120 от 10 до 40

Таблица 5.8

Ориентировочные размеры разведочной сети при разведке штокверков и штокверкоподобных месторождений (категория С₁)

Тип месторождения	Размеры сети, м
Штокверки	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

Список литературы

1. Заборин А.В., Коткин В.А. Российская классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых и международная классификация ООН. Минеральные ресурсы России. 1999. № 2.
2. Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Михайлов Б.К. Ресурсы, запасы и стадийность геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. Отечественная геология. 2003. № 2. С. 16 – 23.
3. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М., 1997. 16 с. (Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов Российской Федерации — ГКЗ).

Глава 6

ТРЕБОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К МИНЕРАЛЬНОМУ СЫРЬЮ (КОНДИЦИИ)

Промышленную ценность обычно представляет не все разведанное месторождение в его геологических границах, а только определенная часть, которая по качеству сырья и условиям залегания пригодна для рентабельной эксплуатации. В ряде случаев месторождения вообще не имеют геологических границ и пригодные для промышленной отработки объемы руд определяются по некоторым предельным значениям содержаний полезных компонентов.

Таким образом, на самом деле для промышленности более важными являются не геологические, а экономические границы рудных тел. Эти границы определяются не только содержаниями полезных компонентов, но и мощностью рудных тел, глубиной залегания, условиями эксплуатации и т. д.

Кондиции — это совокупность требований к качеству сырья в недрах и горнотехническим условиям эксплуатации, установленных в виде конкретных значений некоторых предельных показателей; они служат для разделения запасов в недрах на промышленную и непромышленную, на балансовую и забалансовую части (Каждан, 1985; Прокофьев, 1973; Шумилин, 1998). Кондиции устанавливаются на основе технико-экономических расчетов с учетом современного состояния экономики бурового развития техники, технологии добычи и переработки сырья. Поэтому периодически возникает необходимость пересмотра кондиций.

Кондиции устанавливаются для каждой стадии геологоразведочных работ. В настоящее время в нашей

стране выделяются разведочные и эксплуатационные кондиции. Разведочные, в свою очередь, подразделяются на временные и постоянные.

Временные разведочные кондиции разрабатываются на стадии предварительной разведки месторождения и служат основой для его предварительной оценки и решения вопроса о целесообразности детальной разведки и инвестировании соответствующих средств.

Постоянные разведочные кондиции разрабатываются на стадии завершения детальной разведки. Они служат основой для промышленной оценки месторождения, проектирования разработки и целесообразности капиталовложений в создание добывающего предприятия.

Разработка кондиций осуществляется путем составления специального документа — технико-экономического обоснования кондиций (ТЭО). ТЭО разведочных кондиций должно содержать геологическое, горнотехническое, технологическое, экологическое и экономическое обоснование, разрабатываемое с максимальным учетом реальных условий, что должно обеспечить требуемый уровень достоверности. ТЭО кондиций подлежат государственной экспертизе.

После окончания разведки (иногда через значительный промежуток времени) уже в процессе разработки обычно возникает необходимость адаптации усредненных параметров разведочных кондиций к конкретным участкам месторождения. С этой целью разрабатываются эксплуатационные кондиции.

Эксплуатационные кондиции разрабатываются на основе проекта отработки месторождения с учетом конкретных планов развития горных работ, графиков ежегодного объема добычи, уточненных величин капитальных и эксплуатационных затрат, уточненной схемы и показателей процесса переработки сырья в конечный продукт. При этом учитываются также изменения цен на реализуемую конечную продукцию и другие изменения экономических условий.

К числу основных кондиционных показателей относятся:

1. Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетных блоках.

2. Бортовое содержание полезного компонента, при котором производится оконтуривание балансовых запасов, при отсутствии четких геологических границ.
3. Нижний предел содержания полезного компонента для оконтуривания забалансовых запасов.
4. Максимально допустимое содержание вредных примесей в руде.
5. Попутные компоненты, запасы которых подлежат учету, и минимальное их содержание в руде.
6. Требования о выделении типов и сортов руд.
7. Минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет запасов.
8. Максимальная допустимая мощность прослоев вмещающих пород и некондиционных руд, включаемых в контур промышленных руд. Рассчитываются и некоторые другие показатели.

6.1. Минимальное промышленное содержание

Это наиболее ответственный обобщающий показатель кондиций, определение которого связано с трудоемкими специальными технико-экономическими расчетами.

Минимальное промышленное содержание представляет собой нижний предел среднего содержания полезного компонента в рудах, запасы которых относятся к балансовым. Оно рассчитывается для отдельных подсчетных блоков.

Предел экономической целесообразности промышленного использования полезного ископаемого определяется равенством издержек производства по добыче и переработке полезного ископаемого и стоимости ценных компонентов, извлекаемых из переработанного минерального сырья:

$$C_{\min} \times K_p \times K_{ог} \times K_n \frac{C_n}{C_n} = S_A + S_{ог} + S_n,$$

отсюда

$$C_{\min} = \frac{(S_A + S_{ог} + S_n) C_n}{C_n \times K_p \times K_{ог} \times K_n},$$

где C_{\min} — минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке, %;

S_A — себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого и доставка его до бункера обогатительной фабрики, руб.;

$S_{об}$ — себестоимость обогащения 1 т полезного ископаемого, руб.;

S_m — себестоимость металлургического передела (включая транспортировку до перерабатывающего предприятия), отнесенная на 1 т полезного ископаемого, руб.;

K_p — коэффициент, учитывающий разубоживание $\frac{100-p}{p}$; где p — разубоживание при добыче, %;

$K_{об}$ — коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении;

K_m — коэффициент извлечения полезного компонента при передаче;

C_m — цена полезного компонента в готовом продукте, руб.;

C_m — содержание полезного компонента в готовом продукте, %.

Все входящие в расчет показатели представляют собой переменные и взаимозависимые величины. Они зависят от геологических особенностей месторождения, проектируемого способа разработки и переработки минерального сырья, технической оснащенности и уровня организации производства, географо-экономических условий района и ряда других факторов. Это и делает минимальное промышленное содержание важнейшим обобщающим показателем кондиций, в котором находят отражение все основные факторы, определяющие реальную ценность данного месторождения. Основное назначение его — разделение разведанных запасов в недрах на балансовые и забалансовые.

Минимальное промышленное содержание является таким содержанием, при котором обеспечивается безубыточное использование данного сырья в настоящее время. Фактическое содержание полезного компонента всегда выше, чем минимальное промышленное, этим обеспечивается возможность получения прибыли. Поэтому распространение его на все месторождения

или на крупные его части недопустимо. Обычно оно относится к каждому подсчетному блоку, объемы которых, как правило, не превышают полу- или годового производительности предприятия.

При расчете минимальных промышленных содержаний полезных компонентов в комплексных рудах содержания этих компонентов выражают в условных единицах основного, ведущего компонента. Например, для медноколчеданных руд содержания полезных компонентов (меди, свинца, цинка) могут быть выражены в «условной меди». Перевод содержаний металлов в содержание условного основного компонента проводится с помощью переводных коэффициентов, величина которых зависит от цены на соответствующий металл и сквозного коэффициента извлечения его в готовую продукцию. Расчет переводных коэффициентов производится по формуле

$$K_1 = \frac{C_1 \times I_1}{C_0 \times I_0},$$

где C_0 — цена основного компонента; C_1 — цена другого компонента; I_0, I_1 — сквозные коэффициенты извлечения обоих компонентов к готовую продукцию.

Схема пересчета содержаний металлов в комплексной руде в условный металл может быть показана на следующем примере (табл. 6.1.1); товарным продуктом в данном случае является концентрат.

Таблица 6.1.1

Расчет переводных коэффициентов
(все цифры — условные)

Металлы	Содержание металла в руде, %	Цена 1 т металла в концентрате, C , руб.	Извлечение металла в концентрат, I , %	Переводной коэффициент, K
Медь (основной металл)	0,8	$C_0 = 470$	$I_0 = 90$	$K_0 = 1,00$
Свинец	0,7	$C_1 = 420$	$I_1 = 45$	$K_1 = 0,45$
Цинк	0,6	$C_2 = 300$	$I_2 = 40$	$K_2 = 0,28$

$$K_1 = \frac{C_1 \times I_1}{C_0 \times I_0} = \frac{420 \times 45}{470 \times 90} = 0,45;$$

$$K_2 = \frac{Ц_2 \times И_2}{Ц_0 \times И_0} = \frac{300 \times 40}{470 \times 90} = 0,28.$$

Содержание условной меди $C_{Cu} = 0,8 \times K_0 + 0,7 \times K_1 + 0,6 \times K_2 = 0,8 + (0,7 \times 0,45) + (0,6 \times 0,28) = 1,28\%$. Это содержание и сопоставляется с рассчитанным минимальным промышленным содержанием.

При расчете минимальных промышленных содержаний следует учитывать дополнительные поступления средств: от реализации попутно извлекаемых редких и рассеянных элементов, использования сопутствующих полезных ископаемых (породы-вскрыши, хвосты обогатительных фабрик) и т. д. Эти средства должны быть исключены из суммы общих затрат.

6.2. Бортовое содержание

При отсутствии четких геологических границ оконтуривание тел полезных ископаемых производится на основе данных опробования по некоторым расчетным величинам содержаний. В одних случаях используются величины минимальности промышленного содержания, в других — значительно чаще — специально определяют значения бортовых содержаний. Бортовое содержание — это такое минимальное содержание полезного компонента в крайней пробе, при котором данная проба еще включается в контур балансовых запасов. От величины принятого бортового содержания зависят размеры и качество выделяемых залежей. Чем ниже бортовое содержание, тем крупнее залежь и тем ниже среднее содержание полезного компонента в ней. Поэтому при оконтуривании требуется выбрать оптимальную величину бортового содержания, при котором достигается наиболее полное извлечение полезного ископаемого при обеспечении достаточной рентабельности отработки. Оптимальное значение бортового содержания может колебаться от минимального промышленного до содержания полезного компонента в хвостах обогащения. В отличие от минимального промышленного содержания обосновать оптимальное значение бортового содержания прямыми расчетами

невозможно. Реально величину бортового содержания обычно находят методом вариантов, оконтуривая месторождение по нескольким значениям бортовых содержаний и просчитывая для каждого все технико-экономические показатели освоения (количество запасов, условия их залегания и разработки, качество, годовую производительность предприятия, уровень затрат, прибыль от реализации продукции и т. д.), по оптимальным значениям которых и выбирается лучший вариант и соответствующая ему величина бортового содержания.

Как было отмечено выше, со снижением величины бортового содержания снижается и среднее содержание полезного компонента в оконтуренном объеме. Следовательно, можно найти такое бортовое содержание, при котором фактическое среднее содержание будет равно минимальному промышленному. Это значение — нижний предел ($C_{н.п.}$). Таким образом, оптимальное значение находится между указанными пределами: $C_{н.п.} < C_{опт.} < C_{мин.}$. Величина нижнего предела бортового содержания может быть определена статистическим способом. Для этого строится кумулятивная кривая — по содержаниям металла во всей совокупности имеющихся по данным разведки проб (разбитых на пласты содержаний). Полученная кривая разделяется уровнем минимального промышленного содержания на два отрезка. Затем в области между кривой и ниже уровня минимального промышленного содержания отыскивается площадь, равновеликая той, которая ограничена кривой над уровнем $C_{мин.}$. Полученное на кумулятивной кривой значение и будет нижним пределом (рис. 6.2.1).

Для оконтуривания забалансовых запасов как раз и устанавливаются наиболее низкие из возможных значений бортового содержания, при котором еще практически возможно извлечение полезных компонентов из добытого сырья.

Разработка других из перечисленных выше показателей кондиций также опирается на экономические расчеты.

Максимально допустимое содержание вредных примесей в руде в ряде случаев определяется техни-

ческими требованиями. Для многих видов минерального сырья уровень максимально допустимых вредных примесей для каждого типа и сорта устанавливается по результатам технологических испытаний, а расходы, связанные с удалением их при переработке, учитываются в общих затратах при расчете минимального промышленного содержания.

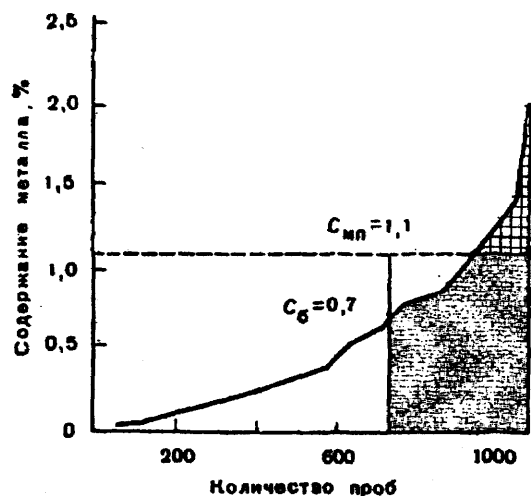


Рис. 6.2.1. Определение нижнего предела бортового содержания полезного компонента в пробах

Попутные компоненты, запасы которых подлежат учету. Помимо тех компонентов, которые учитываются в единицах условного основного компонента при обосновании минимального промышленного содержания, кондициями определяется перечень подлежащих оценке сопутствующих компонентов (например, рассеянные компоненты, благородные металлы — в рудах месторождений цветных металлов) и устанавливаются предельно допустимые среднечисловые содержания каждого из них.

Технологические типы и сорта минерального сырья. При наличии в месторождении нескольких типов и сортов руд каждый из них учитывается и подсчитывается раздельно. Если они могут быть оконтурены или добыты самостоятельно, для каждого из них рассчиты-

ваются минимальные промышленные содержания и другие показатели кондиций. Если же они не выделяются при разведке самостоятельными контурами, учет их производится статистическими методами.

Минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет запасов, рассчитывается в зависимости от устойчивости, формы, степени выдержанности залежи и характера ее контактов. Например, выдержанные крутопадающие тела обрабатываются при мощностях 0,7–1 м; для пологозалегающих тел рабочая мощность увеличивается до 1,5–2 м. При этом обеспечивается возможность добычи без подрыва вмещающих пород и чрезмерного разубоживания.

Для оконтуривания маломощных рудных тел с повышенными содержаниями металлов используется дополнительный кондиционный показатель — минимальный метропроцент, представляющий собой произведение рабочей мощности залежи на минимальное промышленное содержание. Применение этого показателя позволяет включить в промышленный контур некоторые маломощные части рудных тел — при условии, что разубоживание за счет неизбежной выемки вместе с рудой боковых пород будет компенсировано повышенным содержанием полезного компонента в данном участке.

Максимально допустимая мощность прослоев вмещающих пород и некондиционных руд, включаемых в контур промышленных руд. Иногда при сложном строении залежей включение вмещающих пород в промышленный контур позволяет сделать его более простым и удобным для подсчета запасов и последующей разработки. Однако это неизбежно приводит к разубоживанию. Поэтому необходимы расчеты, при этом иногда приходится рассчитывать различные варианты, предусматривающие разные размеры включаемых в контур пустых пород. Расчеты этих вариантов подобны тем, что выполняются при поисках оптимального бортового содержания.

Практически все показатели кондиций связаны между собой и оказывают взаимное влияние друг на друга. Изменение любого из них приводит к изменению объема тел полезных ископаемых, запасов руды и

металла, качества сырья, методов и масштабов добычи. Поэтому выбор оптимальных значений является весьма сложной и трудоемкой процедурой даже тогда, когда в простейших случаях допускается принимать некоторые показатели по аналогии с действующими горнорудными объектами.

Расчет кондиций — это поиск таких путей и условий, при которых содержащееся в недрах сырье может быть отработано с максимально возможным экономическим эффектом.

Список литературы

1. Комплексная геолого-экономическая оценка месторождений (основы методики). М.: Недра, 1990.
2. Прокофьев А.П. Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1973. 320 с.
3. Шумилин М.В. Геолого-экономические основы горного бизнеса // Минеральное сырье. № 3. М.: Изд-во ВИМС, 1998. 168 с.

Запасы полезных ископаемых — массовое или объемное количество полезного ископаемого и его компонентов, заключенное в недрах на определенной территории. Это понятие определяет также и качество полезного ископаемого, т. е. возможность использования его для каких-либо целей. Запасы всегда представлены в виде геологических тел конкретной формы, характеризующихся определенными условиями залегания.

Подсчетом запасов называется определение количества промышленно пригодного минерального сырья в недрах. Подсчет запасов — завершающая операция разведки месторождения или его части и производится обычно в конце каждой стадии разведочного процесса.

Запасы минерального сырья в недрах обычно измеряются в следующих единицах: 1) руды коренных металлических месторождений и большинство остальных видов твердых полезных ископаемых — в тоннах; 2) пески россыпных месторождений, строительных материалов, мраморов и др. — в кубических метрах.

Запасы компонентов (металлов, оксидов и др.) в основном измеряются в тоннах. При этом для железа, марганца, хрома, ванадия, титана, т. е. для черных металлов, определяются и утверждаются только запасы сырой руды и средние содержания металла в ней, а запасы металлов не вычисляются. Запасы благородных металлов (золото, платина, серебро) определяются в килограммах (в некоторых западных странах запасы золота измеряются в «тройских унциях», составляющих 31,103). Запасы алмазов и драгоценных камней определяются в каратах (0,200) или в граммах.

7.1. Оконтуривание рудных тел

Проведение контуров рудных тел является одной из важнейших операций при подсчете запасов. Оконтуривание — это основа создания модели месторождения. Оно оказывает влияние и на количество запасов месторождения и на их качество — в зависимости от того, какие участки минерализованных пород будут включены в промышленный контур, какие останутся за его пределами.

Грамотно выполненное оконтуривание позволяет получить максимальную выгоду от эксплуатации месторождения, а в ряде случаев способствует «созданию» рентабельного объекта даже при небольших запасах и невысоких содержаниях. И наоборот — при неправильном оконтуривании даже крупные объекты могут превратиться в совокупность мелких малопривлекательных участков. Рассмотрим кратко некоторые принципиальные положения и технические приемы оконтуривания.

Границы тел полезных ископаемых

По характеру природных границ рудных тел можно выделить две группы месторождений: а) месторождения с четкими границами тел; б) месторождения с рудными телами, не имеющими таких границ.

Месторождения с четкими границами тел, в свою очередь, подразделяются на две группы: а) с равномерным и б) с неравномерным распределением полезного компонента.

Первый случай наиболее прост для оконтуривания: резкое отличие рудного тела от вмещающих пород позволяет четко провести контур, ограничивающий промышленные руды (рис. 7.1.1).

При оконтуривании рудных тел второй группы, имеющих четкие границы и неравномерное распределение полезного компонента, могут возникнуть различные варианты (рис. 7.1.2).

Первый — если при всех колебаниях в содержании полезного компонента средние его величины всегда остаются выше минимального промышленного, то

независимо от степени изменчивости вся залежь представляет промышленный интерес и оконтуривание упрощается.

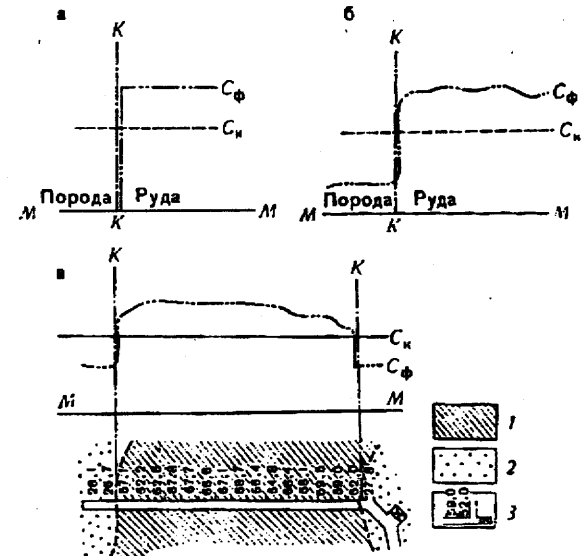


Рис. 7.1.1. Схема соотношения содержания полезного компонента в теле полезного ископаемого во вмещающих породах при четком контакте и равномерном распределении компонента:
а — идеализированная; б — общая; в — часть плана железорудной залежи; 1 — рудное тело; 2 — вмещающие породы; 3 — горные выработки. Вертикальными штрихами отмечены интервалы опробования; цифры — содержание железа в пробах, на основании которых построена кривая C_{ϕ} .

Второй — если среднее фактическое содержание ниже кондиционного, то данная часть рудного тела признается непромышленной. Однако при внимательном изучении характера, закономерностей распределения безрудных участков и их разломов в ряде случаев можно предусмотреть селективную отработку таких участков: оставление их в целиках или организацию обогащения рудной массы сортировкой и т. д. При этих условиях (исключив безрудные участки) среднее содержание может превысить кондиционный уровень и участок будет отнесен к промышленным рудам. Вооб-

ще, выяснение возможности получения более богатого по содержанию минерального сырья за счет исключения безрудных участков имеет большое, а в некоторых случаях — решающее значение для промышленной оценки рудного тела или его части.

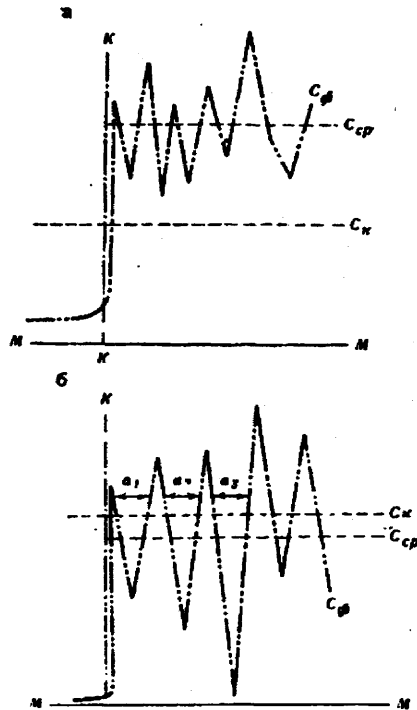


Рис. 7.1.2. Схема соотношения содержания полезного компонента в теле полезного ископаемого и во вмещающих породах при четком контакте и неравномерном распределении компонента:

- а — содержание компонента изменяется в пределах кондиций;
- б — среднее содержание компонента в теле полезного ископаемого ниже кондиционного

Наиболее яркими представителями объектов этой группы являются жильные месторождения вольфрама, олова, золота и др.

Месторождения с рудными телами, не имеющими четких границ, также делятся на две группы: а) с рав-

номерным и б) с неравномерным распределением полезного компонента.

Первая группа характеризуется однородным, одинаковым составом рудных тел и вмещающих пород, различие между которыми заключается только в концентрации полезного компонента; четких границ рудных тел нет: наблюдается постепенный переход минерального сырья в породу (рис. 7.1.3, а). Граница тела для подсчета запасов проводится через ту точку на кривой распределения полезного компонента, в которой содержание становится равным кондиционному. Подобная ситуация имеет место на месторождениях вкрапленных сульфидных руд, некоторых железорудных и бокситовых месторождениях.

В месторождениях второй группы рудные тела по составу также не выделяются среди вмещающих пород, отличаясь от них лишь уровнем содержания полезного компонента. При этом на фоне постепенного снижения концентрации (от рудного тела к вмещающим породам) наблюдаются локальные колебания, часто довольно резкие, которые вуалируют границу перехода (рис. 7.1.3, б).

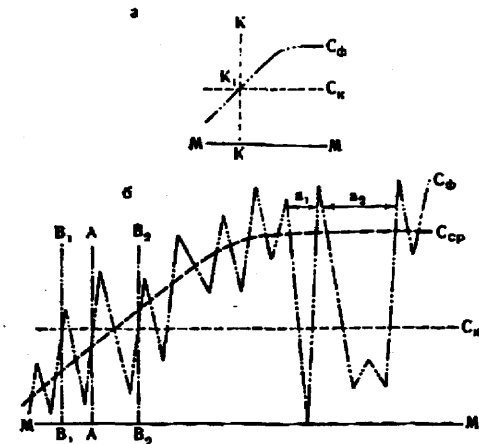


Рис. 7.1.3. Схема соотношения содержания полезного компонента в теле полезного ископаемого и во вмещающих породах при отсутствии четкого контакта:

- а — при равномерном распределении компонента;
- б — при неравномерном распределении компонента

Эта группа месторождений является наиболее сложной для оконтуривания. Здесь также приходится решать вопрос о возможности исключения безрудных участков. Комментируя ситуацию, изображенную на рис. 7.1.3, б, можно заключить, что контур тела должен пройти где-то между линиями B_1 и B_2 . Более точно наметить его можно лишь решив вопрос о судьбе безрудных участков. Если участки a_1 и a_2 при отработке месторождения могут быть исключены, то контур можно провести по линии B_1 . Если же эти участки будут обязательно отработаны, то контур пройдет по некоторой линии А, положение которой определяется специальным расчетом. В этом случае необходимо определить бортовое содержание.

К этой группе относятся практически все месторождения штокеркового типа, большинство золоторудных, многие месторождения редких металлов.

Распределение естественных сортов и типов минерального сырья

Нередко в пределах рудных тел выделяются различные сорта или типы руд. Их следует оконтуривать, поскольку руды разных типов и сортов обрабатываются раздельно, обрабатываются по индивидуальным технологическим схемам и запасы их подсчитываются также раздельно. Взаимоотношения между отдельными сортами и типами минерального сырья в общем сходны с рассмотренными выше взаимоотношениями между телами полезных ископаемых и вмещающими породами. Поэтому принципы и приемы оконтуривания рудных тел полностью применимы и для оконтуривания отдельных типов и сортов руд, выделяемых внутри тел.

Оконтуривание участков, различных по гидрогеологическим и горнотехническим условиям

Горнотехнические и гидрогеологические условия оказывают существенное влияние на способы отработки месторождения, затраты на отработку, себестоимость руды и конечного продукта. Поэтому участки месторождения, находящиеся в разных условиях, оконтуриваются и запасы по ним подсчитываются раздельно.

но. Из числа наиболее важных и часто встречающихся можно указать следующие примеры.

1. На месторождениях, отработку которых планируется вести открытым способом, отдельно оконтуривают и подсчитывают запасы участков с различной мощностью вскрыши. Часто специально составленные для этой цели карты с изолиниями мощности вскрыши (или изолиниями коэффициента вскрыши) служат для установления очередности отработки участков и решения других вопросов.
2. Разработка месторождений (особенно открытая), расположенных в районах развития многолетне-мерзлых пород сопряжена с определенными сложностями. Поэтому при подсчете запасов таких месторождений необходимо изучать распределение мерзлоты и оконтуривать участки: а) сплошного развития мерзлых пород, б) островной мерзлоты, в) талики.
3. Одной из важнейших задач является изучение гидрогеологических условий, определение степени обводненности месторождения, его различных участков, расчет величины ожидаемых водопритокков при эксплуатации. Нередки случаи, когда ценные богатые руды не могут быть отработаны только из-за неблагоприятных гидрогеологических условий их залегания. Поэтому требуется выделять и оконтуривать запасы, находящиеся в резко различных условиях.
4. Запасы в целиках — шахтных, под железнодорожными путями, производственными зданиями, поселками и т. д. должны быть оконтурены на планах и разрезах и подсчитаны отдельно. Если по качеству эти запасы удовлетворяют кондициям, они должны быть отнесены в группу балансовых.

Виды контуров тел полезных ископаемых

При оконтуривании тел для подсчета запасов различают следующие виды контуров.

1. Контур, характеризующий полное окончание (выклинивание тела), называется нулевым контуром. Он строится путем соединения крайних точек, в

которых мощность тела или содержание полезного компонента равно нулю.

2. Промышленный контур отделяет промышленные участки тела от непромышленных. Он проводится через точки с наименьшими значениями показателей, т. е. через точки с минимальной мощностью, минимальным промышленным или бортовым содержанием полезного компонента. Промышленный контур в некоторых участках может совпадать с нулевым.
3. Сортовой контур разделяет различные сорта и типы руд внутри общего промышленного контура.

По способу построения контуров они делятся на два вида.

Первый — внутренний контур интерполяции. Он проводится путем соединения опорных точек, расположенных в крайних разведочных или эксплуатационных выработках.

Второй — внешний контур проводится за пределами крайних выработок или проб, расположенных по периферии разведанного тела. При этом выделяют две разновидности: а) внешний контур ограниченной экстраполяции проводится между выработками, вскрывшими руду, и безрудными; б) внешний контур неограниченной экстраполяции — если за рудными выработками безрудных выработок нет (рис. 7.1.4).

Оконтуривание тел для подсчета запасов производится двумя последовательными операциями: а) установлением опорных (граничных) точек по естественным обнажениям, горным выработкам, скважинам и другим данным; б) проведением через опорные точки линий контуров.

Оконтуривание тел производится на планах, проекциях на разрезах по совокупности разведочных данных.

На участках, где границы рудных тел вскрываются горными выработками или скважинами, опорные точки контуров устанавливаются непосредственно в них с использованием тех приемов, которые упомянуты выше, при характеристике границ рудных тел.

На тех участках, где границы рудного тела располагаются за пределами выработок, опорные точки определяются либо методами интерполяции (между выра-

ботками, одна из которых вскрывает кондиционные руды, другая — некондиционные), либо методами ограниченной или неограниченной экстраполяции. Во всех подобных случаях производятся расчеты, в которых учитываются геологические особенности рудных тел: характер распределения полезного компонента, структурные особенности месторождения и т. д.

Особенно сложной задачей является проведение контуров за пределами разведочных выработок — на неизученных флангах или глубоких горизонтах. В этих случаях используют всю совокупность имеющихся сведений по месторождению: особенности морфологии тела, закономерности изменчивости, геофизические данные, статистические характеристики и т. д.

Иногда допускаются геометрические или формальные приемы оконтуривания, когда граница рудного тела экстраполируется на расстояния, кратные размеру разведочной ячейки и т. д.

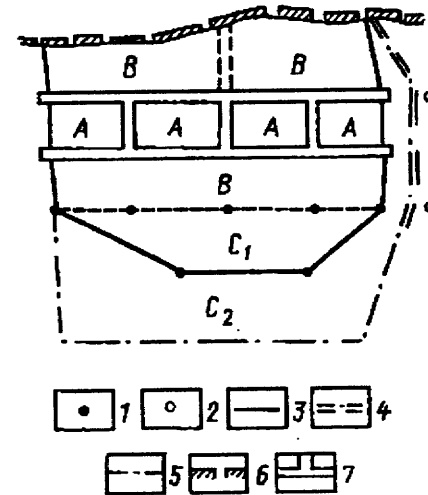


Рис. 7.1.4. Оконтуривание крутопадающего рудного тела для подсчета запасов (продольная вертикальная проекция): 1 — скважины, пересекающие рудное тело; 2 — скважины, показавшие отсутствие рудного тела; 3 — внутренний контур интерполяции; 4 — внешний контур ограниченной экстраполяции; 5 — внешний контур неограниченной экстраполяции; 6 — наносы, вскрытые канавами; 7 — подземные горные выработки

7.2. Определение параметров для подсчета запасов

Запасы какого-либо компонента, например металла, в недрах рудного месторождения определяются по формуле $P = Q\bar{C}$, где P — запасы компонента; Q — запасы минерального сырья, руды; \bar{C} — среднее содержание металла в руде. Если \bar{C} выражено в процентах, то $P = Q\bar{C}/100$. Запасы руды Q определяются по формуле $Q = Vd$, где V — объем тела полезного ископаемого или части его, по которой производится подсчет запасов; d — объемная масса минерального сырья в недрах. Объем тела полезного ископаемого определяется по формуле $V = S\bar{m}$, где S — площадь тела полезного ископаемого или его части; \bar{m} — средняя мощность тела в пределах контура подсчитываемых запасов. Таким образом, запасы металла можно выразить в следующем виде: $P = S\bar{m}d\bar{c}$.

В России запасы полезных ископаемых принято оценивать количеством их в недрах, без учета возможных потерь при добыче. В западных странах обычно указываются извлекаемые запасы, т. е. запасы в недрах минус возможные потери.

Итак, практически для любого способа подсчета запасов твердых полезных ископаемых необходимо знать перечисленные выше основные параметры: площадь и мощность рудного тела, объемную массу руды и среднее содержание металла в ней.

Измерение *площадей* рудных тел проводится на вертикальных, горизонтальных или наклонных проекциях различными способами: геометрическим, с помощью планиметра, курвиметра или палетки.

В пределах контура подсчета запасов *мощность* рудного тела определяется по данным горных выработок или буровых скважин либо непосредственными измерениями (для рудных тел с четкими границами), либо по данным опробования. Среднее значение мощности определяется способом среднего арифметического; если изменение мощности тела не подчиняется какой-либо закономерности или эта закономерность не выявлена:

$$\bar{m} = \frac{\sum m_i}{n}$$

Если изменение мощности является закономерным (например, плавное сокращение мощности при выклинивании тела), то при резко неравномерном распределении пунктов замера мощностей средняя мощность должна

определяться способами средневзвешенного: $\bar{m}_l = \frac{\sum m_i \bar{l}_i}{n}$.

При крайне сложной форме тела \bar{l}_i величину заменяют

площадью влияния отдельного замера (S_{ij}): $\bar{m}_s = \frac{\sum m_i S_{ij}}{\sum S_{ij}}$.

Объемная масса, влажность и другие физико-механические свойства минерального сырья определяются лабораторными методами, иногда полевыми (объемная масса).

Содержания полезных компонентов. Ценные компоненты определяются в пробах в виде элемента, его простейших соединений или в виде ценного минерала. Для коренных месторождений твердых полезных ископаемых содержание элемента или его химических соединений определяется в % или в г (мг) /т.

Содержание висмута, железа, никеля, олова, ртути, свинца и многих других металлов определяется в виде элементов. Бериллий, ванадий, вольфрам и другие определяются в виде оксидов: BeO, V₂O₅, WO₃, LiO, TiO₂, U₃O₈. Содержание барита, графита, корунда подсчитывается в процентах этих минералов к массе минерального сырья. Содержание слюды определяется в кг/1м³ сырья, а оптических минералов — в кг/1м² площади тела полезного ископаемого.

Для россыпных месторождений содержание ценного компонента определяется на 1 м² породы: золота, платины — в г (мг), ильменита, вольфрамиты, касситерита, киновари, корунда, монацита — в г или кг, алмазов — в каратах или мг.

Среднее содержание полезного компонента в выработках, разрезах, разведочных сечениях для подсчета запасов подсчитывается обычно среднеарифметическим или средневзвешенным способом:

$$\bar{c}_i = \frac{\sum C_i}{n}$$

При вычислении средневзвешенного содержания взвешивание можно производить на опробованную мощность тела (m_i), длину влияния отдельных проб (l_i), объемную массу руды (d_i), площадь влияния отдельных проб (S_i) и на комбинированные значения этих величин, например:

$$\bar{C}_B = \frac{\sum C_i m_i l_i d_i S_i}{\sum m_i l_i d_i S_i}.$$

Выявление и учет ураганных проб. В некоторых случаях при вычислении средних содержаний встречаются пробы, выделяющиеся своим исключительно высоким содержанием. Учет таких проб наравне с остальными приводит к резкому завышению среднего содержания. Точнее, к искажению фиксируемого опробованием среднего содержания на величину, превышающую вероятную ошибку данного опробования.

Основные особенности ураганных проб могут быть сведены к следующему (Прерис, 1974).

1. Ураганными считаются большие единичные пробы, которые по величине несоизмеримы с основной массой и наличие которых в подсчетных выборках приводит к резкому искажению средних содержаний.
2. Эффект ураганных проб наблюдается только при вычислении средних содержаний.
3. Ураганные пробы наблюдаются на месторождениях редких и драгоценных металлов. Никто не отмечал появления ураганных проб при вычислении мощностей или средних содержаний черных металлов. Причина заключается в том, что распределения редких и драгоценных элементов в рудах обладают резко выраженной положительной асимметрией.
4. Эффект ураганных проб наблюдается редко и только при сравнительно малых объемах подсчетных выборок (обычно до сотни единиц).

Единых способов выявления и учета ураганных проб нет, хотя известно множество различных рекомендаций. Их можно подразделить на две группы: эмпирические и аналитические.

Эмпирические методы учета выдающихся проб достаточно разнообразны. Среди них В. Смирнов указывает следующие приемы:

- 1) вычисление среднего содержания металла без учета выдающихся проб при их полном исключении;
- 2) замена выдающихся проб максимально высоким содержанием, принятым для данного месторождения на основании опыта изучения, разведки и эксплуатации его;
- 3) замена выдающихся проб средним содержанием по выработке или по блоку, вычисленным без учета выдающихся проб;
- 4) замена выдающихся проб средним содержанием по выработке или по блоку, вычисленным без учета выдающихся проб и проб с очень низким содержанием;
- 5) замена выдающихся проб средним содержанием по выработке или по блоку, вычисленным с учетом всех проб, включая и выдающиеся;
- 6) замена выдающейся пробы средним содержанием, вычисленным по двум соседним пробам, примыкающим по местоположению к выдающейся;
- 7) замена выдающейся пробы средним содержанием, вычисленным по трем пробам, — выдающейся и двум средним, к ней примыкающим;
- 8) уменьшение вдвое удельного значения выдающейся пробы.

Аналитические методы также многочисленны. Из их числа можно выделить те, в которых содержится попытка более или менее точных вычислений предельных величин нормальных проб.

1. Способ Н. Володомонова. Предельное верхнее содержание компонента в нормальных пробах определяется:

$$H_c = \bar{C} + \frac{\bar{C}(n+1)A}{100},$$

где A — коэффициент влияния выдающихся проб, принимаемый равным 10, 15 или 20 % (для разных условий).

2. Способ Г. Вилисова. К ураганным пробам рекомендуется относить те, которые превышают величину

$H_c = \bar{C} + t_\alpha S$, где t_α — значение стандартизованного нормального распределения для доверительной вероятности α ; S — среднеквадратическое отклонение.

3. Способ В. Кузьмина. Граница между нормальными и выдающимися пробами определяется:

$$H_c = \bar{C}(1 + 0,045V) + \sigma_c,$$

где $\sigma_c = \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}}$ — погрешность определения среднего для доверительной вероятности α ; V — коэффициент вариации.

4. Способ В. Гудкова. Граница принимается равной $H_c = \sigma_c n + \bar{C}$, где σ_c , как и в предыдущем способе, — погрешность определения среднего содержания.
5. Способ Христова. Предельная величина нормальных проб $H_c = \bar{C} + KS$, где K — коэффициент, зависящий от объема выборки (от 10 до 220 ед.), его величина изменяется от 5,42 до 3,3.
6. Способ А. Прокофьева. Коэффициент влияния наибольшей пробы на среднее содержание

$$M_{\text{вн}} = \frac{\bar{C} - \bar{C}_{6.у.}}{\bar{C}_{6.у.}}$$

не должен превышать 0,2. В противном случае проба считается ураганной и заменяется величиной верхнего предела: $C = C_{6.у.} (M_{\text{вн}} n + 1)$, где $C_{6.у.}$ — среднее без учета ураганной пробы; $M_{\text{вн}}$ — предельный коэффициент влияния, принимаемый равным 0,2, иногда 0,1.

7.3. Способы подсчета запасов

Все способы подсчета запасов основаны на двух главных принципах: 1) распространении фактических данных о параметрах подсчета, полученных в отдельных естественных обнажениях, горных выработках и скважинах, на прилегающие участки; 2) преобразова-

нии сложных по форме тел полезных ископаемых в равновеликие им по объему простые тела и округления объема, а следовательно, и запасов минерального сырья в пределах последних.

В настоящее время известно более двадцати способов подсчета запасов твердых полезных ископаемых, из них наиболее часто используются лишь три: геологических блоков, эксплуатационных блоков и геологических разрезов. Другие методы применяются в единичных случаях или используются в качестве параллельных методов для получения сравнительных данных. Дело в том, что сейчас в связи с широким применением компьютерной техники имеется возможность вести подсчет запасов одновременно несколькими методами, что нередко используется геологами для сопоставления данных, полученных по разным методам, и их сравнительной оценки.

Способ геологических блоков

Этот способ, впервые описанный В. Смирновым, является самым простым и наименее трудоемким. Частным случаем его является метод *среднего арифметического* или, как его иногда называют, суммарный метод, когда все тело полезного ископаемого рассматривается как один блок.

Оконтуривание рудного тела производится обычным способом. Площадь тела на графической проекции измеряется планиметром или палеткой, или любым другим способом. Мощность \bar{m} вычисляется как среднее арифметическое по данным всех горных выработок и скважин, пересекших тело полезного ископаемого:

$$\bar{m} = \sum \bar{m}_i / n.$$

Объем тела V вычисляется как произведение площади на среднюю мощность. Таким образом, при подсчете запасов этим способом ограниченное сложными поверхностями тело приравнивается к равновеликой фигуре, имеющей форму пластины с постоянной высотой и периметром, соответствующим внешнему контуру тела (рис. 7.3.1).

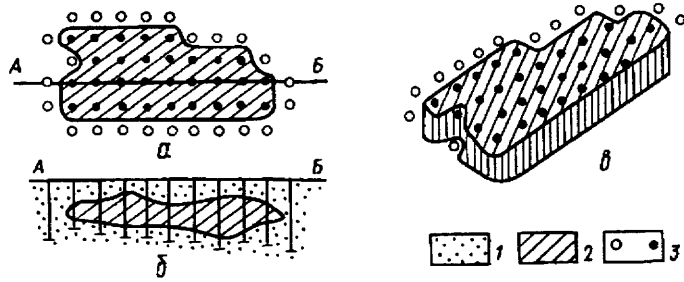


Рис. 7.3.1. Схема преобразования формы тела полезного ископаемого при подсчете запасов методом среднего арифметического (по А. Прокофьеву):
 а — план; б — разрез; в — аксонометрическая проекция преобразованного тела; 1 — вмещающие породы; 2 — тело полезного ископаемого, 3 — горные выработки, вскрывшие (черные кружки) и не вскрывшие (белые кружки) полезное ископаемое

Среднее содержание компоненты \bar{C} определяется так же, как среднее арифметическое всех частных содержаний по отдельным выработкам:

$$\bar{C} = \sum C_i / n.$$

Так же определяется средняя величина объемной массы. Запасы сырья Q определяются по формуле $Q = Vd$; запасы компонентов P по формуле $P = Q\bar{C}$.

Способ среднего арифметического применяется в основном для ориентировочной оценки запасов, однако при достаточно большом количестве пересечений рудного тела выработками или скважинами он дает вполне точные результаты. К недостаткам этого метода относится излишнее упрощение формы и недостаточная надежность результатов в случае месторождений со сложными телами. Кроме этого, метод среднего арифметического не дает возможности раздельного подсчета запасов различных сортов и типов руд.

При подсчете запасов способом геологических блоков площадь тела полезного ископаемого разделяется на отдельные участки и подсчет запасов в пределах выделенных таким образом блоков производится по способу среднего арифметического. Тело полезного ископаемого в данном случае как бы преобразуется в

совокупность сомкнутых призм, высота которых равна средней мощности каждого блока (рис. 7.3.2).

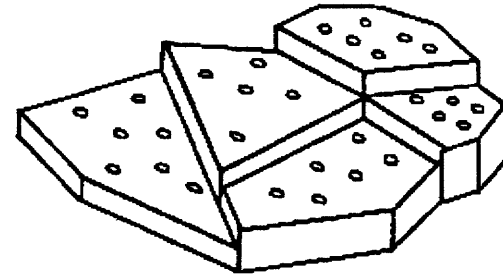


Рис. 7.3.2. Преобразование тела полезного ископаемого в группу сомкнутых разновеликих фигур при подсчете запасов по способу геологических блоков (по В. Смирнову)

Графические построения сводятся к общему оконтуриванию рудного тела наиболее приемлемым в каждом данном случае способом и расчленению охваченной общим контуром площади на блоки. Разделение рудного тела на блоки может производиться по различным признакам, но обязательно существенным для характеристики качества, условий залегания, надежности оценки запасов или других особенностей месторождения. К числу таких признаков относятся: 1) сорта и типы полезного ископаемого, отличающиеся уровнем содержания полезных и вредных компонентов, технологическими свойствами и др.; 2) степень разведанности запасов и возможность выделения запасов различных категорий; 3) участки тел различной мощности, определяющей особенности систем разработки; 4) участки, характеризующиеся существенными особенностями горнотехнических условий.

Разделять площадь тела полезного ископаемого на блоки по другим признакам (в частности, с единственной целью получения большего количества блоков малых размеров) не рекомендуется. Точность подсчета запасов зависит, при прочих равных условиях, от количества исходных данных; поэтому чем крупнее будут блоки и чем на большее количество пересечений будет опираться подсчет, тем точнее будут результаты.

Общие запасы минерального сырья и компонентов получают суммированием запасов по отдельным участкам и блокам.

Метод геологических блоков рекомендуется для подсчета запасов как простых, так и сложных тел полезных ископаемых. Основным достоинством метода является необычайная простота графических построений и вычислительных операций. Кроме того, при этом методе с достаточной полнотой и наглядностью удается учесть почти все особенности геологического строения рудных тел.

Способ эксплуатационных блоков

Этот способ применяется при подсчете запасов жильных или маломощных пластовых месторождений, рудные тела которых в процессе подготовки к эксплуатации нарезаны горными выработками на эксплуатационные блоки (рис. 7.3.3).

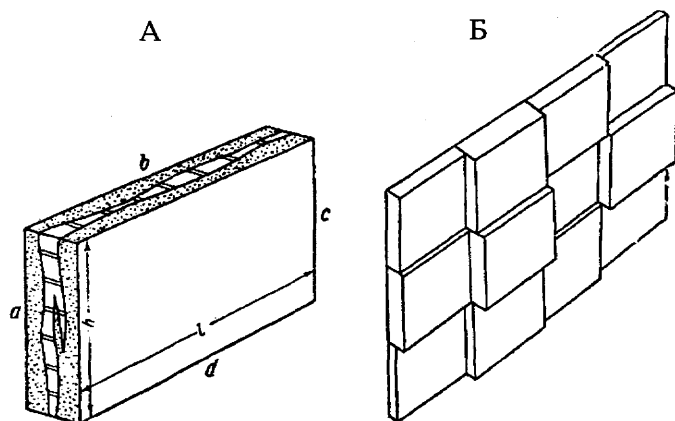


Рис. 7.3.3. А. Эксплуатационный блок, оконтуренный с четырех сторон горными выработками.

Б. Преобразование тела полезного ископаемого в группу сомкнутых по штрекам и восстающим параллелепипедов при подсчете запасов по способу эксплуатационных блоков

Блоками являются части рудного тела, оконтуренные и опробованные с четырех сторон: сверху и снизу — штреками, а по бокам — восстающими. Некоторые блоки могут быть оконтурены не полностью, и тогда в расчет принимаются только те их стороны, которые ограничены горными выработками.

Подсчет запасов в пределах каждого блока производится по среднеарифметическому способу, а общие запасы определяются суммированием запасов всех блоков.

Таким образом, сложная форма тела полезного ископаемого как бы преобразуется в ряд сомкнутых по штрекам и восстающим разновеликих параллелепипедов (или напоминающих их тел), высота которых равна средней мощности по каждому блоку, а основание — площади блоков.

Графические построения сводятся к изображению продольной проекции тела полезного ископаемого на основании маркшейдерских данных.

Запасы минерального сырья по каждому блоку определяются произведением площади блока на среднюю мощность по блоку и на среднюю величину объемной массы; запасы компонента — произведением запасов сырья на среднее содержание, вычисленное для блока.

Достоинства способа эксплуатационных блоков заключаются в простоте графических построений и вычислительных операций, возможности выделения участков минерального сырья различного качества, а главное — в удобстве для проектирования эксплуатационных работ.

Недостатками этого способа являются ограниченные возможности его применения — только при условии нарезки рудных тел горными выработками; при этом мощность рудного тела, как правило, не должна превышать ширину выработок.

Способы геологических разрезов

Способ разрезов широко используется при подсчете запасов месторождений, разведанных выработками, расположенными по разведочным линиям, на основании которых можно построить геологические разрезы.

Строить разрезы, пересекающие тела полезных ископаемых, можно в плоскостях, секущих тело либо в вертикальном направлении, когда разведка осуществлялась по вертикальным линиям, либо в горизонтальном, когда разведка производилась по горизонтам. В связи с этим различают две разновидности этого метода — метод вертикальных и метод горизонтальных разрезов. Принципы подсчета запасов для этих разновидностей одни и те же.

Геологические разрезы расчленяют тело на отдельные блоки. Все блоки, кроме краевых, ограничены двумя секущими плоскостями. Крайние блоки ограничены плоскостью сечения только с одной стороны, а с остальных их ограничивает неправильная поверхность тела полезного ископаемого (рис. 7.3.4).

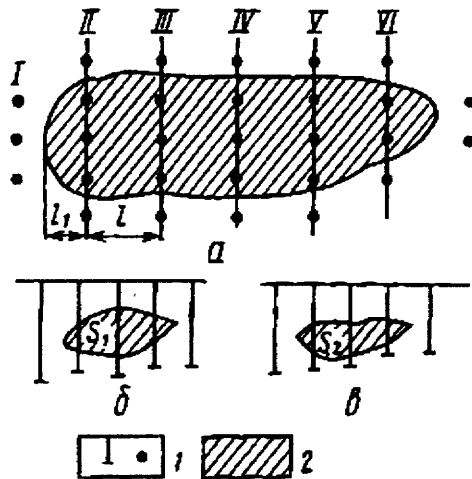


Рис. 7.3.4. Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов методом разреза (по А. Прокофьеву): а — план; б — разрез по линии II; в — разрез по линии III
1 — разведочные выработки; 2 — рудное тело

Запасы минерального сырья и компонентов определяются отдельно для каждого блока. Общие запасы получаются суммированием запасов всех блоков.

Для вычисления объема блока используются следующие формулы.

1. Когда площади сечений тела полезного ископаемого на разрезах, ограничивающих блок, более или менее равновелики, а сечения близки к параллельным, используют формулу призмы

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l,$$

где V — объем блока; S_1 и S_2 — площади сечений тела на разрезах; l — длина блока (расстояние между разрезами).

2. Если площади параллельных сечений, ограничивающих блок, имеют изометрическую форму и подобны, но по величине резко отличаются друг от друга (более чем на 40 %), объем блока вычисляют по формуле усеченной пирамиды:

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} l.$$

Для крайних блоков, которые опираются только на одно сечение, объем может быть определен также по соответствующим формулам, в зависимости от характера выклинивания тела.

1. По формуле клина: $V = \frac{S_1 l_1}{2}$, где l_1 — расстояние от плоскости сечения до точки выклинивания тела полезного ископаемого.

2. По формуле конуса: $V = \frac{S_2 l_2}{3}$ при тех же значениях параметров.

Запасы минерального сырья (руды) определяются умножением объема блока на объемную массу. Средняя величина объемной массы, как и средние содержания полезных компонентов для блока, определяют по замерам в выработках для каждого сечения, а затем, если блок ограничен двумя сечениями, из данных двух разрезов способом среднего арифметического или среднего взвешенного на площади сечений.

Запасы полезного компонента (металла) в блоке определяются перемножением среднего содержания на величину запасов сырья (руды).

Способ разрезов обеспечивает наиболее правдоподобное преобразование объемов залежей, позволяет наиболее полно учесть и отразить геологические особенности строения месторождений. Применение этого способа эффективно и по существу безальтернативно при подсчете запасов залежей сложной формы и большой мощности. Наиболее существенный недостаток способа разрезов — ограниченность его применения только для объектов, разведанных системами поперечных разведочных разрезов.

Линейный способ является разновидностью способа разрезов; наиболее широко применяется при подсчете запасов россыпных месторождений. По описанию В.И. Смирнова, подсчет запасов по линейному способу осуществляется последовательным суммированием запасов от мельчайших участков тела полезного ископаемого, расположенных на разведочной линии, до общего учета запасов на площадях, расположенных между линиями. Подсчет производится следующим образом:

- 1) определяются запасы участков, расположенных между двумя соседними выработками или скважинами на разведочной линии при ширине этих участков (измеряемых вкрест линии) в 1 м;
- 2) суммируются запасы указанных в п. 1 участков, что дает запасы в ленте шириной 1 м, следующей по разведочному сечению;
- 3) запасы в лентах по сечениям позволяют определить запасы участков между сечениями или участков, прилегающих к каждому сечению;
- 4) суммируются запасы отдельных участков, что дает общие запасы по месторождению.

Определение запасов участков, расположенных между двумя соседними выработками или скважинами на разведочной линии при ширине 1 м (рис. 7.3.5, а), производят по формуле

$$q = \{(m_1 + m_2) / 2\} \times l_1 d,$$

где q — запасы участка; m_1 и m_2 — мощность тела полезного ископаемого по выработкам; l_1 — расстояние между выработками или скважинами на разведочной линии; d — объемная масса минерального сырья (руды).

Запасы полезного компонента (металла) каждого выделенного участка определяют как произведение запасов минерального сырья на среднее содержание компонента.

Запасы руды и металла в разведочном сечении на ширину его в 1 м подсчитывают суммированием частных запасов по отдельным участкам.

Запасы сырья между линиями (рис. 7.3.5, б) определяют по формуле

$$Q = \{(Q_I + Q_{II}) / 2\} \times l,$$

где Q — запасы сырья на площади между разведочными линиями I и II; Q_I, Q_{II} — запасы сырья в лентах шириной 1 м по разведочным линиям (линейные запасы); l — расстояние между линиями.

Запасы компонента (металла) определяются по формуле

$$P = \{(P_I + P_{II}) / 2\} \times l,$$

где P — запасы компонента на площади между разведочными линиями I и II; P_I и P_{II} — запасы компонента в лентах шириной 1 м по разведочным линиям (линейные запасы); l — расстояние между линиями.

Если подсчетный блок опирается на одну разведочную линию, то запасы на участке (рис. 7.3.5, в), прилегающем к линии (на площади влияния линии), определяются по формулам

$$Q = Q_I l^I,$$

$$P = P_I l^I,$$

где Q и P — запасы соответственно руды и металла на площади, прилегающей к разведочной линии; l^I — ширина влияния разведочной линии, равная полусумме расстояний до соседних линий.

Приведенные формулы применимы в тех случаях, когда линии разведочных выработок или горизонты их расположены более или менее параллельно друг другу. Если же линии разведочных выработок непараллельны, то определение объемов блоков, расположенных между сходящимися разрезами, производится способом **непараллельных сечений**, предло-

женным А.П. Прокофьевым. Суть его можно пояснить следующим примером. На плане подсчета запасов (рис. 7.3.6, а) блок между разведочными линиями I—I и II—II делится вспомогательной линией на две части (по принципу ближайшего района). Для этого вспомогательные линии $a_1 - a_2$ и $b_1 - b_2$ делятся пополам и полученные точки C_1 и C_2 соединяются прямой, которая делит площадь подсчетного блока на площади S_1' и S_2' . Нетрудно показать, что объем части блока, прилегающей к разрезу I—I, можно определить по формуле

$$V_1 = S_1 \times S_1' / l_1,$$

где V_1 — объем части блока, прилегающей к разрезу I—I; S_1 — площадь сечения тела по разведочной линии I—I; S_1' — площадь влияния разведочной линии I—I; l_1 — длина разведочной линии I—I ($a_1 b_1$).

Объем части блока, прилегающей к разрезу II—II (V_{II}), определяют по аналогичной формуле. Общий объем подсчетного блока будет равен сумме: $V_1 + V_{II}$. Среднее содержание полезного компонента и объемная масса принимаются как средние значения между данными по разрезам.

Объем блоков, имеющих неровные границы (например, блок 3 на рис. 7.3.6, б), предлагается определять по формуле

$$V_{III} = S_3 \times S_3' / 2l_3,$$

где V_{III} — объем блока, имеющего неправильный контур; S_3 — площадь сечения тела по разведочной линии III—III; S_3' — площадь блока в плане; l_3 — длина разведочной линии.

Способ разрезов часто комбинируется с другими способами. Например, запасы верхних горизонтов крутопадающего тела, разведанных горными выработками с нарезкой эксплуатационных блоков, подсчитываются способом эксплуатационных блоков, а нижних горизонтов, разведанных небольшим количеством горных выработок или буровыми скважинами, — способом разрезов. В зависимости от особенностей методики разведки могут быть использованы и другие комбинации способов подсчета запасов.

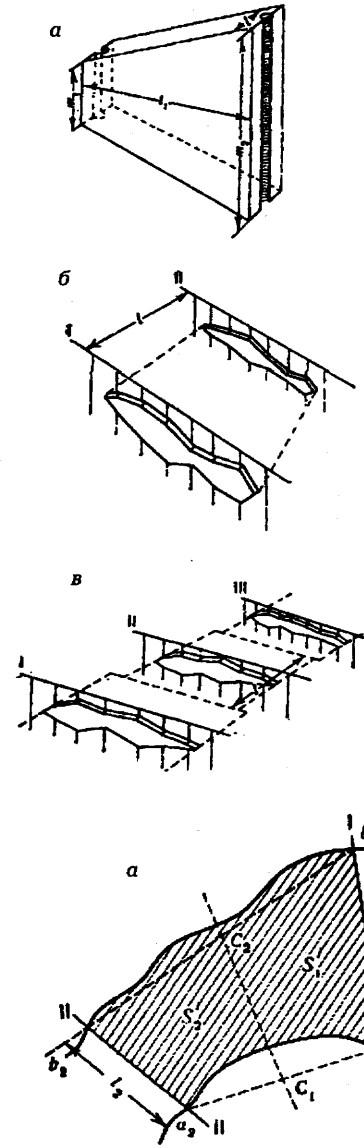


Рис. 7.3.5. Подсчет запасов линейным способом (по А.П. Прокофьеву): а — на участке между двумя выработками на разведочной линии шириной 1 м; б — на площади между двумя разведочными линиями; в — на площади, прилегающей к разведочным линиям

Рис. 7.3.6. Схема подсчета запасов (по А.П. Прокофьеву): а — между непараллельными сечениями; б — в пределах неровного контура блока

Способ многоугольников

Этот способ называется также способом ближайшего района или способом Болдырева, по имени А. Болдырева, обосновавшего его применение для подсчета запасов. Сущность способа сводится к выделению вокруг каждого пункта пересечения тела полезного ископаемого горной выработкой или скважиной участка, все точки которого ближе к этой выработке, чем к любой соседней. Вспомогательные построения заключаются в том, что на плане подсчета запасов каждую выработку соединяют с соседними прямыми линиями. Затем каждая такая вспомогательная линия делится пополам перпендикуляром к ней. Перпендикуляры, встречаясь друг с другом, замыкают вокруг каждой выработки многоугольник, являющийся «ближайшим районом», все точки которого ближе к расположенной в центре выработке, чем к любой соседней, и на который распространяются данные, полученные по этой выработке (рис. 7.3.7). Таким образом, весь подсчетный план расчленяется на систему много-

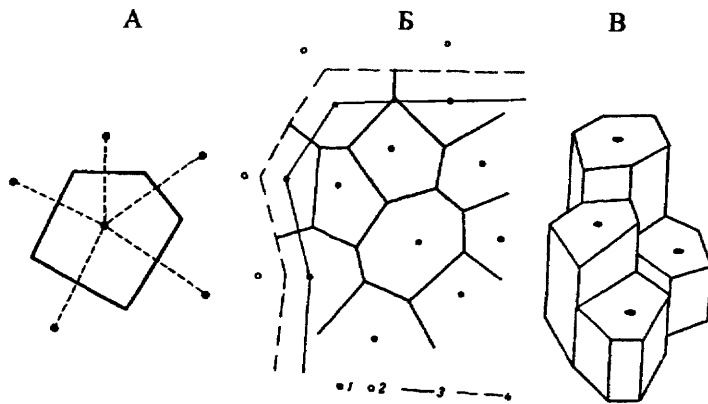


Рис. 7.3.7. Подсчет запасов по способу многоугольников:
 А — построение многоугольника на подсчетном плане вокруг одной из разведочных скважин; Б — фрагмент подсчетного плана;
 В — перспектива фрагмента тела полезного ископаемого, трансформированного в группу многогранных призм;
 1 — скважины, пересекающие тело полезного ископаемого;
 2 — скважины, показывающие отсутствие тела полезного ископаемого; 3 — внутренний контур; 4 — внешний контур

угольников, а тело полезного ископаемого как бы преобразуется в группу сомкнутых многогранных призм, основанием которых служат построенные многоугольники, а высотой является мощность тела по выработке, расположенной в центре многоугольника (рис. 7.3.7).

Запасы полезного ископаемого вычисляются в каждой призме на основании данных одного разведочного пересечения. Общие запасы тела определяются суммированием запасов всех призм.

Способ многоугольников прост, но обладает рядом крупных недостатков, главнейшим среди которых является невозможность надежно выделять сорта и типы полезного ископаемого, поскольку формальные контуры многоугольников не соответствуют природным границам, разделяющим тела на участки различного состава. По этим причинам способ многоугольников имеет весьма ограниченное применение.

Способ изолиний

Сущность способа состоит в том, что тело полезного ископаемого, ограниченное со всех сторон сложными поверхностями, преобразуется в равновеликое тело, ограниченное с одной стороны плоскостью, а с другой — топографической поверхностью, т. е. поверхностью, которая может быть изображена системой замкнутых изолиний равной высоты (рис. 7.3.8).

Объем такого тела, а следовательно, и запасы его могут быть вычислены по известным формулам определения объема, ограниченного топографической поверхностью.

Графические построения при этом способе сводятся к следующему. На подсчетном плане рядом с каждой выработкой, пересекающей залежь, указывается ее мощность. Затем обычным способом интерполяции проводятся изолинии мощности. Объем тела, ограниченного топографической поверхностью (т. е. системой изолиний мощностей), определяется одним из трех способов по формулам: 1) приближенного интегрирования; 2) усеченного конуса или 3) трапеций.

Вычисление по формуле приближенного интегрирования:

$$V = \frac{h}{3} [(S_0 + S_n) + 4(S_1 + S_3 + S_5 + \dots) + 2(S_2 + S_4 + S_6 + \dots)] \pm \frac{1}{3} \sum S_m h.$$

Вычисление по формуле усеченного конуса:

$$V = \frac{h}{3} \sum (S_{n-1} + S_n + \sqrt{S_{n-1} S_n}) \pm \frac{1}{3} \sum S_m h.$$

Вычисление по формуле трапеций:

$$V = h \left(\frac{S_0}{2} + S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right) \pm \sum S_m h.$$

Во всех формулах: V — объем тела, ограниченного системой изолиний равных высот; h — расстояние между сечениями (цена сечения); S_0 — площадь, ограниченная нулевой изолинией; S_1, S_2, \dots — площади, ограниченные соответствующими изолиниями; S_m — площадь конечных впадин и выступов: площади впадин берутся со знаком минус, а площади выступов со знаком плюс.

Вычисление объема можно проводить и другими способами.

Запасы руды вычисляются, как обычно, умножением объема на среднее значение объемной массы, запасы металла — умножением объема тела на среднюю объемную массу и среднее содержание металла.

Вместо изолиний равных мощностей можно строить сразу изолинии произведения мощности на объемную массу, тогда при вычислении получается запас руды. Если строить изолинии равных произведений мощности на содержание и объемную массу, то при вычислении получают сразу запасы металла.

Главным достоинством метода изолиний является наглядность. Недостаток его — в сложности графических построений. Наиболее часто этот способ используют при подсчете запасов месторождений строительных материалов, разрабатываемых открытым способом. Для подсчета запасов некоторых подобных месторождений могут быть использованы топографические карты.

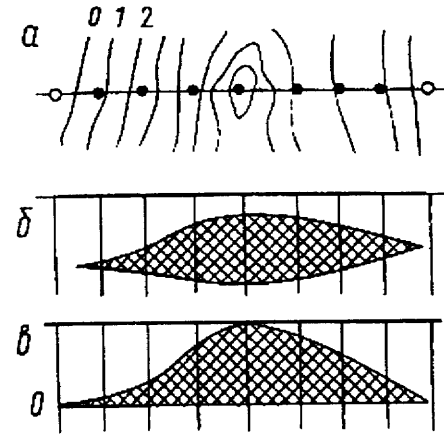


Рис. 7.3.8. Подсчет запасов по методу изолиний (по А.П. Прокофьеву):

a — план части тела полезного ископаемого в изолиниях мощности; b — разрез тела полезного ископаемого по разведочной линии; c — разрез равновеликого тела, ограниченного с одной стороны плоскостью, а с другой — топографической поверхностью

7.4. Точность подсчета запасов

Точность подсчета запасов зависит от сложности геологического строения объекта, детальности его разведки и точности определения основных параметров, входящих в подсчет. Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: 1) геологические (ошибки аналогии), связанные с распространением фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на ближайшие участки; 2) технические, связанные с техникой замеров и определении исходных параметров для подсчета запасов, к которым относятся точность замеров мощности, химических анализов, точность определения объемной массы и др.; 3) связанные с применением различных методов подсчета запасов.

Погрешности аналогии подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости

месторождения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологическими погрешностями обусловлены наиболее крупные ошибки подсчета запасов. Установлено, что геологическая погрешность при подсчете запасов высоких категорий *A* и *B* может достигать до 10 – 15 %. В отдельных случаях, при неправильном понимании особенностей геологического строения месторождения, она может быть и выше.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку, обладая переменным знаком, они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности, обладая одним знаком, оказывают одностороннее влияние на результаты подсчета и искажают их, в чем и заключается их чрезвычайная опасность. Поэтому, если имеются данные о возможности таких погрешностей, категории запасов должны быть снижены.

Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами. На основании контрольных работ данные основных наблюдений могут быть откорректированы путем введения соответствующих поправочных коэффициентов. К их числу относятся, в частности, коэффициент рудности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др.

Применение того или иного метода подсчета запасов не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Конечные цифры запасов, подсчитанные различными методами, в пределах одних и тех же контуров тел полезных ископаемых различаются на 1 – 5 %, что не превосходит пределов точности технических операций подсчета. Поэтому наиболее целесообразным считается применение таких методов подсчета, которые в полной степени соответствуют методике разведки, дают возможность полнее учитывать и отражать геологические особенности строения месторождения, его структуру, распределение сортов и типов минерального сырья и в то же время позволяют сократить затраты времени и средств, связанные с подсчетом запасов.

Список литературы

1. *Авдонин В.В.* Технические средства и методика разведки месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во МГУ, 1994. 208 с.
2. *Авдонин В.В., Шатагин Н.Н.* Решение геологоразведочных задач на ЭВМ. М.: Изд-во МГУ, 1989. 144 с.
3. *Каждан А.Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 288 с.
4. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых / В.И. Смирнов, А.П. Прокофьев, В.М. Борзунов и др. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 672 с.
5. *Прокофьев А.П.* Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1973. 320 с.

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геолого-экономическая оценка месторождения полезного ископаемого — это определение его промышленной значимости в данное время и в конкретных географо-экономических условиях. Промышленное значение месторождения обусловлено тем, насколько оно пригодно для использования в народном хозяйстве, т. е. каковы технические возможности и экономическая целесообразность добычи и переработки полезного ископаемого, заключенного в месторождении.

Геолого-экономическая оценка производится на всех стадиях разведки месторождения. В результате поисково-разведочных работ производится ориентировочная оценка возможного промышленного значения предполагаемого месторождения. Ограниченность фактических данных и необходимость использования предполагаемых оценочных показателей обуславливают преобладание в таких перспективных оценках элементов прогноза. Тем не менее они в ряде случаев служат достаточным основанием для принятия решений о постановке или продолжении разведочных работ.

По завершении предварительной разведки полученные данные позволяют давать более обоснованную геолого-экономическую оценку вновь выявленного месторождения. На этой стадии обычно применяется метод простых аналогий, т. е. сравнение изучаемого объекта с подобным по их натуральным свойствам — размерам, качеству руд, условиям залегания и т. д. Обычно при этом производятся простейшие расчеты показателей оценки.

В процессе и по окончании детальной разведки промышленная оценка месторождения производится на основании оценочных показателей, которые рассчитываются по достаточно надежным результатам разведки, с выяснением возможностей добычи и переработки полезного ископаемого с учетом конкретных условий данного района и общей экономической обстановки. Основными разведочными данными для расчетов являются запасы месторождения, средние содержания полезного компонента в рудах, условия залегания рудных тел и др.

Запасы полезного ископаемого — важнейший показатель ценности месторождения. При оценке месторождений в расчет принимаются только данные о запасах, отнесенных к категориям А, В, С₁ и С₂. Сведения о прогнозных ресурсах (категории Р, Р₂ и Р₃) рассматриваются лишь как дополнительный положительный фактор. При оценке комплексных месторождений учитываются запасы всех основных полезных компонентов. Промышленная ценность месторождения определяется запасами и уровнем содержания только основных компонентов. Содержащиеся в рудах попутные компоненты, в том числе редкие и рассеянные элементы, учитываются только в том случае, если по основным компонентам месторождение может быть признано как рентабельный объект. Возможность извлечения попутных компонентов, равно как и попутное использование других видов полезных ископаемых (например, разного рода строительных материалов, которые могут быть получены при вскрышных работах), рассматриваются как возможный дополнительный источник доходов будущего предприятия, но не играют решающей роли в оценке промышленной значимости месторождения.

Величина запасов и средние содержания основного (или основных) полезного ископаемого являются базовыми оценочными характеристиками месторождения. На их основе рассчитываются более детальные показатели: потери при добыче, разубоживании, извлечении металлов при обогащении и металлургическом переделе, производительность будущего горного предприятия, срок отработки месторождения.

8.1. Потери при добыче

Запасы месторождения, подсчитанные в недрах, практически никогда не извлекаются полностью. При разработке определенная часть запасов становится неизвлекаемой — оставляется в целиках или за контуром промышленной отработки. Цифра потерь зависит от условий залегания рудных тел, сложности их морфологии и применяемой системы отработки. Обычно степень извлечения полезного ископаемого из недр колеблется в пределах 85–90 %.

8.2. Разубоживание

При любых способах отработки неизбежно вместе с рудой извлекается некоторая часть вмещающих ее пород. Это либо породы, не содержащие полезных компонентов, либо некондиционные — бедные и убогие руды. В любом случае извлекаемая из недр руда характеризуется более низкими содержаниями полезных компонентов. При этом извлекаемое из недр количество руды превышает запасы, подсчитанные при разведке.

Разубоживание особенно велико при отработке приконтурных частей рудных тел сложной конфигурации.

Величина разубоживания обычно изменяется от 5 до 30 % и зависит в первую очередь от применяемой системы разработки. Каждая из систем характеризуется своими показателями разубоживания. При наиболее дешевых системах валовой отработки (различные модификации систем с обрушением кровли) в извлекаемую рудную массу попадает большое количество вмещающих пород. Селективные системы отработки обеспечивают меньшее разубоживание, но являются значительно более дорогими. Нужно иметь в виду, что потери при добыче и разубоживании руд — явления, связанные между собой. Как правило, снижение потерь при добыче ведет к увеличению разубоживания. И наоборот — стремление к уменьшению разубоживания ведет к отказу от разработки участков со сложной

конфигурацией рудных тел и тем самым увеличивает количество руды, оставляемой в недрах.

По этим причинам снижение величины разубоживания и уменьшение потерь при добыче являются важнейшими и наиболее сложными задачами, оптимальное решение которых непосредственно влияет на экономическую оценку месторождения, а в некоторых случаях определяет его судьбу.

На стадии предпроектной оценки месторождения величины потерь и разубоживания могут быть определены по аналогии с другими объектами, близкими по геологическим параметрам (условия залегания, размеры и форма рудных тел), разработка которых осуществляется теми же методами, которые проектируются для разведанного месторождения.

8.3. Извлечение металлов при обогащении

Содержащийся в руде металл никогда не может быть извлечен при обогащении в концентрат полностью. Часть его неизбежно теряется в хвостах обогащения. Коэффициент извлечения определяется по формуле (в %)

$$K_o = \frac{C_k(C_p - C_{xb})}{C_p(C_k - C_{xb})},$$

где C — содержание металла в руде (C_p), концентрате (C_k), хвостах обогащения (C_{xb}).

Величина извлечения металла в концентрат имеет очень важное значение, поскольку непосредственно влияет на величину доходов горнорудного предприятия. При оценке разведанного месторождения для определения коэффициента извлечения полезного компонента при обогащении используются результаты технологических испытаний — в промышленных, полупромышленных или лабораторных условиях. Если не имеется результатов подобных испытаний, используются данные по аналогичным рудам, которые обогащаются на той же фабрике, в которой предполагается обогащение руд оцениваемого месторождения. Иногда допускается использование средних по отрасли показателей извлечения. Так, в цветной металлургии

извлечение металлов в кондиционные концентраты характеризуется следующими показателями: медь — 2–97 %; свинец — 88–93; цинк — 82–90; никель — 75–82; олово 70–85; вольфрам — 75–87; молибден — 79–85 %.

Важную оценочную роль играют коэффициент обогащения и коэффициент извлечения массы.

Коэффициент обогащения ($K_{об}$) показывает, сколько тонн руды необходимо переработать для получения 1 т концентрата:

$$K_{об} = \frac{C_k}{C_p \times K_0}.$$

Надо заметить, что в ряде случаев содержание металла в концентрате регламентируется жесткими требованиями металлургических предприятий или в тех случаях, когда концентрат является товарным продуктом.

Коэффициент извлечения массы ($K_{им}$) является величиной, обратной $K_{об}$, и показывает, какая часть

добытой руды извлекается в концентрат: $K_{им} = \frac{1}{K_{об}}$.

Этот показатель используется при расчете транспортных расходов на перевозку концентратов.

8.4. Извлечение металла при металлургическом переделе

Извлечение металла непосредственно из руды (богатой) или из концентрата при металлургическом переделе всегда сопровождается определенными потерями. Для разных типов руд и различных технологий передела эти потери существенно различаются. Например, при обогащении и металлургическом переделе уральских медноколчеданных руд теряется: меди — 15 %, цинка — 50, серы — 45, благородных металлов — 13–14 %. Извлечение металлов из концентратов труднообогатимых медноколчеданных руд Николаевского месторождения (Рудный Алтай) составляет: медь — 74,29 %, цинк — 58,63 %.

В тех случаях, когда конечным продуктом проектируемого горнодобывающего предприятия является металл и технология переработки руд определена, можно пользоваться величиной сквозного коэффициента извлечения металла ($K_{извл}$), равного произведению коэффициента извлечения металла при обогащении на коэффициент извлечения при металлургическом переделе ($K_{п}$):

$$K_{извл} = K_0 \times K_{п}.$$

Коэффициенты извлечения металлов являются важной оценочной величиной и определяются как для основных металлов, так и для попутных компонентов. Например, сквозное извлечение основных металлов при переработке руд полиметаллических месторождений Рудного Алтая составляет: меди — 85,6 %, цинка — 75,2 %, свинца — 78 %. При этом с хвостами переработки теряется 88 % галлия, 55 % теллура, 30 % индия.

8.5. Производительность предприятия и срок эксплуатации месторождений

Производительность будущего горного предприятия является важнейшим оценочным показателем. Она определяется в зависимости от величины запасов полезного ископаемого и способа добычи — подземного или открытого. Она выражается в величине среднегодовой добычи полезного ископаемого, а при обогащении руд также в среднегодовом производстве концентратов или иной товарной продукции.

При оценке месторождения очень важно правильно определить годовую производительность будущего рудника. При этом учитываются многие факторы: технические ограничения, экономические соображения, связанные с окупаемостью капитальных вложений, минимизацией рисков, обусловленных колебаниями цен на металл и т. д.

Наибольшую производительность можно предусматривать для крупных месторождений, разрабатываемых открытым способом. Мощность карьера может

достигать 50 тыс. т руды в сутки. Разработка маломощных жил подземным способом обеспечивает суточную производительность около 100 т руды. Технические ограничения не всегда являются определяющим фактором оценки производительности предприятия. Значительно более важную роль играет срок отработки месторождения. В современных условиях, по данным статистики, оптимальным сроком наиболее эффективной отработки месторождений считается 10 лет. Таким образом, годовую производительность рудника в руде можно определить делением количества запасов на 10. Для месторождений с большими запасами срок полной отработки принимается равным как минимум 20—25 годам. Разумеется, речь идет о приблизительных цифрах, служащих для принципиальной общей оценки месторождения.

В одной из работ (А. Дергачев и др., 2000), помимо указанного способа, предлагается оптимальную продолжительность работы рудника (T , лет) определять аналитически по двум эмпирическим формулам:

$$T (\text{лет}) \approx 0,2Q_1^{0,25}$$

или

$$T (\text{лет}) \approx 6,5Q_{II}^{0,25},$$

где Q_1 — запасы руды в тоннах; Q_{II} — запасы руды в млн т. Соответственно оптимальная производительность будущего предприятия определяется как частное от деления запасов руды на T . Авторы указывают, что этот аналитический метод, безусловно, является приблизительным, однако он основан на статистических данных по большому числу действующих рентабельных рудников.

Изложенные выше принципы и оценочные показатели используются для геолого-промышленной оценки месторождения на заключительной стадии разведки. Сама эта оценка является всего лишь основой для последующих финансово-экономических расчетов, связанных с проектами эксплуатации месторождений. Рассмотрению этих проблем посвящены специальные курсы (А. Дергачев, Дж. Хилл, Л. Казаченко, 2000).

Список литературы

1. Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. М.: Недра, 1988.
2. Дергачев А.А., Хилл Дж., Казаченко Л.Д. Финансово-экономическая оценка минеральных месторождений: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2000. 176 с.
3. Шумилин М.В. Геолого-экономические основы горного бизнеса // Минеральное сырье. № 3. М.: Изд-во ВИМС, 1998. 168 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ

В современном мире все большее количество задач, ранее решавшихся «вручную», перекладывается человеком «на плечи» компьютеров. Вот и в геологии за последние 25 лет были освоены географические информационные системы (ГИСы) и трехмерное моделирование месторождений (3D-модели). На качественно новый уровень вышли геостатистические методы подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Каждый геолог-рудник должен владеть основами трехмерного моделирования и геостатистики. Главное то, что эти дисциплины очень тесно связаны друг с другом.

В начале 90-х гг. в разных странах появились интегрированные пакеты прикладных программ для решения геологоразведочных задач. В настоящее время среди лидеров можно назвать такие пакеты программ, как DataMine, Surpac, MicroMine, GeoCom и RockWare. У этих программ различаются форматы файлов, отличаются интерфейсы по работе с пользователями, но во всех этих программах используется одно графическое ядро — огромный набор стандартных программ геометрического моделирования в трехмерном пространстве.

Пословица «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать» отражает исключительную для человека роль зрительного восприятия визуальной и, в частности, графической информации. Емкость и быстрота восприятия зрительных образов весьма велики. Для выяснения особенностей какого-либо явления иногда

достаточно несколько секунд, в течение которых мы рассматриваем график функции, диаграмму, геологический разрез или другое наглядное изображение. На расшифровку же и сравнение тысяч чисел, которыми могут быть представлены те же объекты, понадобятся десятки минут и часы.

Поэтому *главная цель трехмерного моделирования* — это *визуализация геологической структуры месторождения*. Нужно сделать так, чтобы геологическое строение месторождения выступало в максимально наглядном, понятном виде. Ведь и раньше геологи не удовлетворялись одними вертикальными и горизонтальными разрезами месторождения. Они вычерчивали в аксонометрической или перспективной проекции сложные объемные фигуры — блок-диаграммы месторождений. Они изготовляли из фанеры или картона раздвижные макеты блок-диаграмм месторождений. Они чертили серию разрезов на стекле или плексиглазе, с тем чтобы в такой прозрачной модели можно было понять основные особенности строения рудных тел и самого месторождения. Рудные тела лепили из пластилина, вырезали из пенопласта, ваяли из алебастра. Трехмерное моделирование безмерно упрощает эту титаническую работу геологов по созданию объемных моделей месторождений.

Математики задолго до появления компьютеров пользовались, с одной стороны, графической и геометрической интерпретацией различных математических понятий, а с другой стороны, они занимались численным описанием геометрических объектов и аналитическими методами решения геометрических задач. С распространением компьютеров эта численная, аналитическая геометрия переживает, можно сказать, «вторую молодость». Компьютер наглядно изображает такие сложные геометрические объекты, которые раньше математики не брались изображать, например человека или движущиеся объекты.

В докомпьютерную эру картографическим шедевром *почти объемного* изображения рельефа считались раскрашенные карты в изолиниях с «отмысками» — тенями, будто бы отбрасываемыми «горами». А в середине XX в. появились действительно чудесные карты

(и географические, и геологические) с выдавленным (вытисненным) на тонком пластике рельефом. Но создание таких карт было делом технически очень сложным и дорогим. **Одной из основных задач** трехмерного моделирования является **построение карт различных поверхностей**. Практически во всех прикладных пакетах 3D-моделирования предлагаются два десятка способов построения таких карт. Вертикальный масштаб этих карт может быть в любой момент увеличен. Это, например, почти всегда нужно делать при моделировании маломощных россыпных месторождений. Кроме того, любая построенная поверхность может быть «поднята в воздух» и рассмотрена с любого ракурса и при любом увеличении, хоть «с изнанки».

Отдельной задачей является **изображение горных выработок и их документации**. Достаточно напомнить, что у геологов массу времени отнимали расчеты искривлений буровых скважин и вычерчивание их трассировки на разрезах и планах. Особенно больших затрат и времени, и сил раньше занимало проектирование карьеров. Стоит напомнить, что документация наземных маршрутов и геологической съемки карьеров во всех пакетах может вводиться в компьютер с GPS (Global Position System).

Возьмем такой вид деятельности геолога, как подготовка и черчение различных карт, разрезов, планов, схем и других изображений. Какой картограф не мечтал, чтобы его кропотливую и нередко рутинную работу быстро и точно выполнял автомат? Известно, что сотни чертежей, изготавливаемых в процессе проектирования горнорудных предприятий, в значительной степени состоят из типовых, повторяющихся частей, изображений стандартных деталей и знаков. В иных случаях — при изготовлении точных карт, при подготовке рисунков для их последующего типографского воспроизведения — точности человеческой руки не всегда бывает достаточно, несмотря на наличие линеек, циркулей и других средств «малой механизации». **Автоматизация чертежно-графических работ**, таким образом, может рассматриваться как **одна из насущных задач**, эффективное решение которой возможно с помощью вычислительной техники.

Конечная цель трехмерного моделирования — это подготовка 3D-моделей рудных тел к подсчету запасов. Все пакеты программ трехмерного моделирования месторождений в настоящее время нацелены на **геостатистические методы оценки запасов**. Трехмерное моделирование и геостатистика в данном случае неразрывно срослись в основное орудие геолога для подсчета запасов.

9.1. Трехмерное компьютерное моделирование месторождений

Три десятилетия назад компьютерная графика и родственная ей компьютерная (вычислительная) геометрия считались частью системного программирования или одним из разделов CAD (Computer Aided Design), или в русском варианте САПР (система автоматизированного проектирования). Сейчас это уже вполне самостоятельные, со своими проблемами и специфической областью деятельности. Это и новые эффективные технические средства для проектировщиков, конструкторов и исследователей; это и программные системы, и машинные языки; это и новые научные и учебные дисциплины, родившиеся на базе синтеза таких предшественников, как аналитическая, прикладная и начертательная геометрии, программирование, методы вычислительной математики, приборостроение.

Компьютерная графика и геометрия сейчас — это целый ряд направлений и разнообразных применений. Некоторые из них отталкиваются от задачи автоматизации вычерчивания технической документации, другие — от проблем оперативного взаимодействия человека и машины, от задач численной обработки, расшивки и передачи изображений. Свои подходы к компьютерной графике у геодезистов и картографов, у полиграфистов и астрономов, у специалистов по космической связи и конструкторов электронной аппаратуры, у кинематографистов и разработчиков компьютерных игр. Не все направления нашли должное отражение в литературе. В частности, в российской

геологической литературе нет учебных пособий, посвященных трехмерному моделированию.

Графические изображения называют языком геологии. Поэтому понятен тот интерес к компьютерной графике, который сейчас наблюдается у геологов во многих странах. Проблем здесь много. Требуется специальное оборудование. Геологам часто необходимо замерять объемные объекты — модели, макеты, натурные образцы, и информацию об их форме вводить в компьютер, а также в автоматическом режиме воспроизводить пространственные геометрические формы. Системы, позволяющие это делать, можно назвать системами объемного геометрического отображения или моделирования.

В различных графических и геометрических системах много общего. Почти все чертежи и схемы содержат прямые и кривые линии, окружности, надписи из букв и цифр. Общей основой почти для всех применений компьютерной геометрии и графики являются двумерные и трехмерные координатные системы и их преобразования. Подобный геометрический фундамент, общие уравнения, алгоритмы, методы решения задач составляют методическое и математическое «ядро», на которое дальше уже наслаиваются специфические и иногда оригинальные алгоритмы и программы. Таким образом, сама графическая или геометрическая программная система неоднородна, обычно состоит из ряда «слоев» или иерархических уровней.

В геологии трехмерное моделирование недр, в первую очередь, нужно геологам-разведчикам месторождений полезных ископаемых. Конечно, короткий раздел в учебнике не претендует на освещение всех направлений компьютерной графики. Наша основная цель — в не очень сухой и строгой форме дать азы практического руководства для начального освоения трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых.

Исторически так уж получилось, что геологи стали использовать компьютерные алгоритмы трехмерной графики позже инженеров, конструкторов и архитекторов. По их «социальному заказу» сформировалось программное ядро графических систем, в котором не

учитывалась специфика геологии и географии. В частности, вместо картографических координатных систем, привычных для представителей наук о Земле, была использована бытовая, «школьная» декартова координатная система. Что оставалось делать геологам? Либо переписывать все подпрограммы графического ядра. Либо насильно менять собственную координатную систему. Создатели систем трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых пошли по второму пути.

Система трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых является преемницей той дисциплины, которая ранее именовалась *«геометрией недр»*. Важнейшая задача геометрии недр состояла (и состоит) в том, чтобы на основе наблюдений и количественных измерений выявить форму и условия залегания залежей полезных ископаемых и вмещающих их горных пород. Она должна изучить геометрические параметры рудных тел и установить закономерности их изменения в пространстве недр, чтобы вскрыть пространственные закономерности распределения физико-химических и других свойств полезных ископаемых и отобразить эти закономерности на планах, картах, вертикальных разрезах и других графиках.

Все эти процедуры в совокупности называют *геометризацией* (Трофимов, 1980). Теперь можно сказать, что *геометризация* — это методика *трехмерного графического компьютерного моделирования* месторождений полезных ископаемых.

9.2. Координаты в трехмерном пространстве

Географические координаты — *широта* и *долгота* — величины, определяющие положение точки на земной поверхности. Широта и долгота определяются из вычислений по геодезическим измерениям, приведенным к поверхности земного эллипсоида, а высота устанавливается в результате изучения фигуры Земли. На топографических картах высоты точек местности даются не над поверхностью земного эллипсоида,

а над уровнем моря, причем в России — над многолетним средним уровнем Балтийского моря. Этот уровень отмечен горизонтальным штрихом на специальной доске, прикрепленной к стенке обводного канала в Кронштадте (Кронштадтский футшток).

Геодезические координаты — долгота и широта — для многих случаев практики неудобны, в том числе и для геологоразведочных работ. Поэтому от геодезических координат переходят к прямоугольным координатам на плоскости, на которую проектируется поверхность земного эллипсоида по тому или иному математическому закону. В России топографические карты составляются в проекции Гаусса (Гаусса – Крюгера). Эта проекция дает равноугольное отображение поверхности земного эллипсоида. Так как с достаточно малыми искажениями на плоскость может быть развернута только ограниченная часть земного эллипсоида, то при построении системы прямоугольных координат в проекции Гаусса поверхность земного шара делится на зоны, ограниченные с запада и востока меридианами. В каждой такой зоне устанавливается своя система прямоугольных координат, причем за ось X принимается изображение среднего меридиана зоны, а осью Y служит изображение земного экватора. В каждой зоне абсциссы X отсчитываются от экватора к северу (положительные) и к югу (отрицательные), а ординаты Y — от осевого меридиана зоны к востоку (положительные) и к западу (отрицательные). Чтобы не иметь отрицательных ординат, ко всем ординатам прибавляется 500 000 м и перед полученными таким способом условными координатами подписывается номер координатной зоны.

С математической точки зрения используемая географическая система прямоугольных координат называется *левой системой координат*. В ней значения координаты X увеличиваются на север, координаты Y увеличиваются на восток, а координаты Z растут вверх (в зенит).

Геолог, начинающий работать в одной из программ трехмерного моделирования, столкнется с тем, что в программе используется *правая система координат*, в которой значения координаты Y увеличиваются на

север, координаты X увеличиваются на восток, а координаты Z растут вверх (в зенит), т. е. координаты X и Y поменяны местами. Это произошло за счет того, что было использовано ядро уже готовых графических пакетов типа AutoCAD. Такие пакеты разрабатывались не для геологов и географов, а для архитекторов, инженеров, проектирующих станки, автомобили, мебель, т. е. людей, работающих в областях, очень далеких от геодезии. Но стоит в файлах с исходными данными поменять местами столбцы с координатами X и Y , как все встает на свои места.

Итак, в программах объемного моделирования используется трехмерная система координат с осями X , Y и Z (рис. 9.2.1). Такая система называется *ортогональной* (декартовой) системой координат. Любая пара этих трех осей взаимно перпендикулярна. Все три координатные оси проходят через одну общую точку начала координат O и являются бесконечно длинными. На рис. 9.2.1 показаны только малые части этих трех полуосей, в дальнейшем их будем называть положительными осями. Координаты представляются в виде вещественных чисел. Точка P имеет ортогональные координаты (X, Y, Z) , смысл которых заключается в том, что, отправляясь из точки O , можно достичь точки P , двигаясь сначала в положительном направлении оси X на расстояние X , затем на расстояние Y в направлении положительной оси Y и, наконец, на расстояние Z в направлении положительной оси Z .

Координатная система, изображенная на рис. 9.2.1, является *правой*. Это означает следующее. Предположим, что положительная ось X поворачивается на угол 90° вокруг оси Z таким образом, что после этого поворота ось X совпадает с осью Y . Это вращение можно сравнить с вращением винта, ориентированного снизу вверх, с правой (т. е. нормальной) резьбой. При таком повороте винт будет несколько перемещаться вверх в направлении оси Z . Правую трехмерную систему координат в пространстве можно разместить по-разному. Как показано на рис. 9.2.1, можно выбрать такое ее положение, что положительная ось Z направлена вверх, это предопределяет расположение оси X и оси Y в горизонтальной плоскости XY .

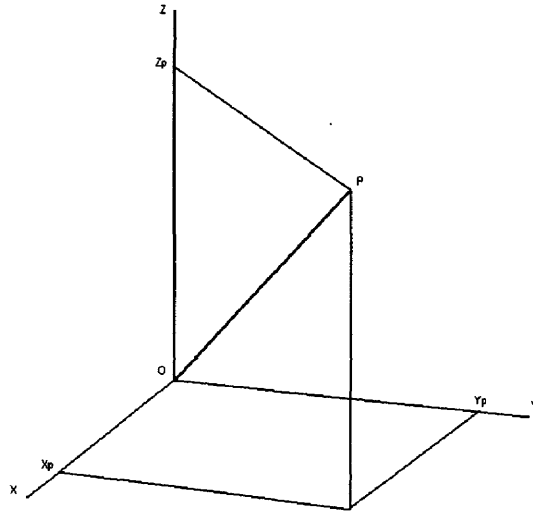


Рис. 9.2.1. Ортогональные координаты

Кроме прямоугольных координат для геологических задач нередко используются **сферические** координаты. Здесь также для определения положения точки P используются три вещественных числа. Вместо обозначений X_p, Y_p, Z_p (или просто X, Y, Z) для обозначений сферических координат применяются буквы греческого алфавита ρ, θ, φ (ро, тета, фи). Как видно из рис. 9.2.2, значение ρ определяет расстояние между точками P и O или, другими словами, это значение является радиусом сферы с центром в точке O, проходящей через точку P. Символами θ и φ обозначаются углы. Угол θ измеряется в плоскости xOy , используя положение точки P', являющейся проекцией точки P на эту плоскость. Точка P' определяется путем опускания перпендикуляра из точки P на плоскость XY. Значение θ равно углу, на который потребовалось бы повернуть положительную ось X (вокруг оси Z) в положительном направлении до тех пор, пока она не будет проходить через точку P'. Например, угол θ лежит между 0° и 90° , если точка P' лежит в первом квадранте, т. е. в области между положительной осью X и положительной осью Y. Угол φ — это угол, измеренный в вертикаль-

ной плоскости между осью Z и прямой линией OP. Значение угла φ может быть в пределах от 0° до 180° . Существуют следующие соотношения между сферическими координатами ρ, θ, φ , с одной стороны, и прямоугольными координатами x, y, z — с другой:

$$\begin{aligned} x &= \rho \sin \varphi \cos \theta, \\ y &= \rho \sin \varphi \sin \theta, \\ z &= \rho \cos \varphi. \end{aligned}$$

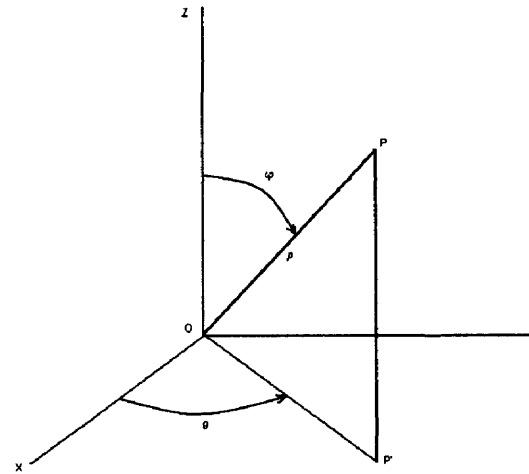


Рис. 9.2.2. Сферические координаты

9.3. Точка наблюдения и перспективное изображение

3D — так мы сокращенно будем именовать программы трехмерного моделирования. D — сокращение от слова *dimensions* — размерность пространства. 3D — *in three dimensions* — *трехмерное пространство*. При использовании программы 3D мы будем иметь дело с точками, отрезками прямых линий и с конечными, сплошными телами, которые ограничены плоскими гранями. Кривые поверхности будут аппроксимированы набором плоских граней, что аналогично аппроксимации кривых последовательностью отрезков прямых линий. Мы должны тем или иным способом опре-

десять позиции вершин этих полигонов. Для этой цели будем использовать прямоугольные координаты в правой системе координат.

Кроме того, нужно задать позицию глаза, называемого **точкой наблюдения**. Для обозначения этой точки наблюдения будем применять букву *E* (от слова *Eye* — «глаз»). Точка *E* имеет очень важное значение в ее соотношении с центральной точкой объекта *O*, которая располагается более или менее близко от центра объекта. Тогда прямая линия *EO* будет называться **линией наблюдения**, а направление от *E* к *O* — направлением наблюдения. Как видно на рис. 9.3.1, для наблюдения доступно все, что лежит в пределах определенного конуса, ось которого совпадает с линией наблюдения *EO*. Для задания точки наблюдения *E* относительно объекта вообразим новую систему координат с началом в центральной точке объекта *O*, каждая ось которой параллельна соответствующим исходным осям. Затем нам нужно указать сферические координаты ρ , θ и ϕ точки наблюдения *E* относительно этой новой системы координат. Тогда буквой ρ будет обозначена длина отрезка прямой линии *EO*, как это видно на рис. 9.3.1. Другими словами, это будет расстояние наблюдения. На рис. 9.3.1 также показана поверхность проецирования, которая представляется в виде плоскости, перпендикулярной линии наблюдения. Все видимые точки объекта посылают лучи света в глаз *E*. Пересечение этих лучей с плоскостью проекции образует перспективное изображение. Такой способ проецирования объекта на плоскость называется центральным проецированием, поскольку все проецирующие лучи проходят через точку наблюдения *E* — центр проекции.

Очевидно, что расстояние между плоскостью проекции и точкой наблюдения *E* определяет размер изображения. В программе 3D это расстояние часто будет выбираться автоматически таким образом, чтобы изображение всего объекта хорошо совпадало с размером нашего экрана, так что пользователю не нужно будет беспокоиться о расположении плоскости проекции. Угол α между осью конуса и его образующей должен быть достаточно малым, чтобы перспективное изобра-

жение выглядело приемлемым образом для большинства пользователей. Это достигается выбором расстояния наблюдения с значительно больше, чем размер объекта. Например, если хотим получить изображение куба с единичной длиной стороны, тогда можно рекомендовать значение $\rho \approx 5$. Для некоторых очень больших значений, скажем $\rho = 100\,000$, изображение будет примерно таким же, как и при значительно меньших значениях ρ . Тогда почему бы всегда не выбирать такие большие значения расстояния наблюдения?

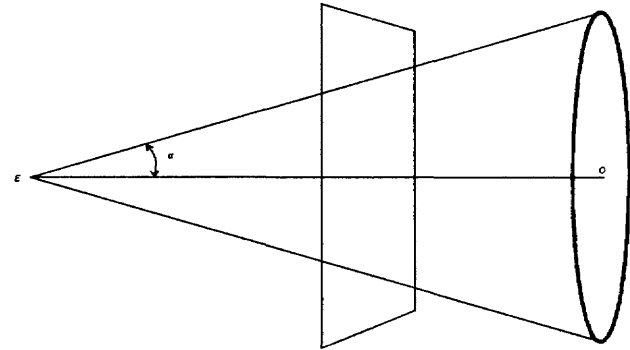


Рис. 9.3.1. Конус и линия наблюдения

Ответ заключается в том, что при очень большом расстоянии ρ фактически получится не *перспективное* изображение, а *параллельное* — все линии, параллельные на объекте, будут также параллельными и на изображении. Для понимания этого явления представим, что в последнем случае угол α на рис. 9.3.1 будет таким малым, что все лучи света, выходящие из различных точек объекта и проходящие через точку наблюдения *E*, будут практически параллельными. Таким образом, при очень больших значениях расстояния ρ будет получена приблизительно параллельная проекция, которая очень часто применяется на практике, поскольку ее проще использовать, чем реальную перспективную проекцию. На рис. 9.3.2 показаны три представления куба с единичной длиной стороны, которые получаются при различных значениях расстояния s .

Многие предпочитают изображение на рис. 9.3.2,а при $\rho = 5$. На этом рисунке видно, что ребра изображаются в виде более коротких отрезков, если они расположены дальше, что может быть полезным при интерпретации сложного изображения (особенно если объект представляется в виде проволочной модели). Нет ничего существенно неверного в изображении рис. 9.3.2,б, где принято значение $\rho = 100\ 000$, но это изображение может показаться слишком упрощенным, поскольку в нем никак не проявляется эффект перспективы. Параллельные ребра в кубе имеют отображение в виде параллельных линий на рис. 9.3.2,в, и отрезки прямых линий не сокращаются, если они более удалены (фактически на изображении имеют сокращенные отрезки, но это произошло из-за их положения в пространстве, а не из-за удаленности от точки наблюдения). Строго говоря, здесь все-таки остается некоторый эффект перспективы, поскольку расстояние ρ , хотя и очень большое, но не бесконечно велико и теоретически есть небольшая разница в длине отрезков для параллельных ребер куба. Однако эти различия слишком малы, чтобы их заметить, поэтому их можно проигнорировать и говорить, что проекции любых двух параллельных ребер куба параллельны и имеют одну и ту же длину.

В 3D-программах могут встретиться и другие проекции.

Когда центром проектирования является бесконечно уда-

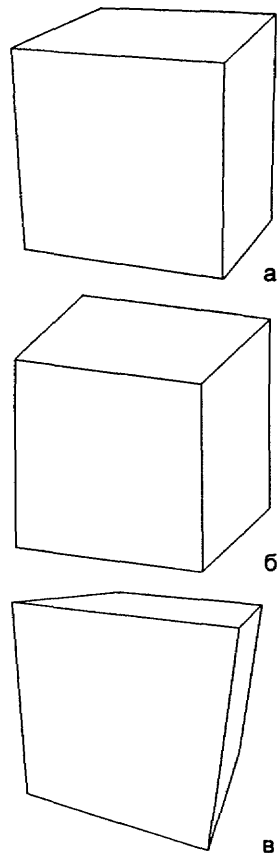


Рис. 9.3.2. Куб в перспективной проекции с разными расстояниями наблюдения:
(а) $c = 5$;
(б) $c = 100\ 000$;
(в) $c = 2$

ленная точка пространства, все проектирующие прямые параллельны и проекцию называют **параллельной** или **цилиндрической**.

Широкое применение при построении проекционных чертежей имеет тот частный вид параллельного проектирования, когда плоскость проектирования расположена перпендикулярно (ортогонально) к направлению проектирования. Проекцию в этом случае называют **прямоугольной** или **ортогональной**.

Аксонометрия — особый способ изображения пространственных фигур на плоскости. Аксонометрия по существу представляет собой обыкновенную параллельную проекцию, отличающуюся, однако, тем, что на плоскость чертежа одновременно с изображаемой фигурой проектируется выбранная в пространстве система координат. Аксонометрическое изображение пространственной фигуры позволяет полностью восстановить ее форму и расположение относительно системы координат. Любая 3D-программа любую построенную фигуру может аксонометрически спроецировать на одну из 6 ортогональных плоскостей: на запад или на восток; на север или на юг; на надир (вниз) или на зенит (вверх).

С точки зрения геометрии **перспективная проекция** — способ изображения фигур, основанный на применении центрального проектирования. Для получения перспективного изображения какого-либо предмета проводят из выбранной точки пространства центра наблюдения (**центра перспективы**) лучи ко всем точкам данного предмета. На пути этих лучей ставят ту поверхность, на которой желают получить изображение: если поверхностью проекции является плоскость, получают **линейную перспективу**; если — внутренняя поверхность цилиндра, получают **панорамную перспективу**; если — внутренняя поверхность сферы, получают **купольную перспективу**. При моделировании месторождений полезных ископаемых используют **линейную перспективу**. Перспективное изображение параллельных прямых пересекается в так называемых **точках схода**. Угол, под которым виден наибольший размер предмета, называется **углом зрения**.

В геологоразведочных приложениях моделируемые геологические тела имеют 3 точки схода — две гори-

зонтальные и одну вертикальную. В некоторых программах трехмерного моделирования положение точек схода и угла зрения задаются автоматически, например на расстоянии, в 5 раз большем размера объекта в этом направлении. Причем в некоторых 3D-программах пользователь не может регулировать положение точек схода. Из-за этого моделируемый геологический объект может очень сильно искажаться — нередко глубокие буровые скважины на глубине стягиваются в один «пучок». Поэтому нередко удобнее работать в прямоугольных координатах, в которых искажения не так бросаются в глаза.

9.4. Графические примитивы (простейшие элементы)

Все геологические тела и другие техногенные объекты (подземные горные выработки, карьеры и т. п.), показываемые в трехмерном пространстве, в принципе состоят из элементарных геометрических фигур — точек, линий, плоскостей.

Точки

Точка — простейший графический элемент. В файлах, в которых она записана, должна содержаться информация о трех *координатах* точки $\{x, y, z\}$. Точка рисуется текущим цветом. Точка может быть *невидимой*.

Линии

Линия состоит из двух точек 1 и 2, у которых хотя бы одна из трех координат по значению различается $\{x_1, y_1, z_1\} \neq \{x_2, y_2, z_2\}$, соединенных прямолинейным отрезком. В памяти компьютера хранится следующая информация о линии: *координаты* концов линии $\{x_1, y_1, z_1\}$ и $\{x_2, y_2, z_2\}$; *толщина* вычерчиваемой линии (в пикселях); *цвет* линии; *стиль* черчения. Стиль черчения — это форма, в которой линия будет вычерчиваться. Линия может быть *сплошной*, *штриховой*, *пунктирной*, *штрихпунктирной*. Кроме того, линия может быть *невидимой*.

Стринги

String — в переводе с английского *струна*, *темува* (*нечто натянутое*). В общем случае стринг — это ломаная кривая, которая представляет собой ряд последовательно идущих точек, соединенных (*стянутых*) прямыми отрезками (линиями). Так как стринг — это серия линий, то в стринг-файлах (обычное расширение файлов .str) хранится вся информация о каждой линии, указанная выше. Каждый стринг должен иметь уникальный идентификатор (индивидуальный номер). Например, стринг, состоящий из 11 точек и 10 соединяющих линий, занимает в стринг-файле 11 строк. И все 11 строк должны иметь один и тот же идентификатор.

Контур

Замкнутый стринг, у которого первая точка по координатам совпадает с последней, называется *контуром*. У контура, в отличие от *открытого* стринга, количество точек точно равно количеству линий.

Пространственный треугольник

Контур, состоящий из трех точек, является простейшей фигурой — *пространственным треугольником* с единственной плоскостью, проходящей через все 3 точки — вершины треугольника. Эту плоскость, проходящую через 3 точки и 3 прямые линии, соединяющие точки, можно *загравировать* (*задекорировать*), *натянув* на треугольник «*материю*» (*оболочку*) того или иного цвета. Это может быть материя с какой-то штриховкой или с рисунком. При этом можно задать стиль *прозрачности*. В разных программах это делается по-разному, но 3 значения прозрачности обязательно присутствуют. Во-первых, оболочка может быть задана полностью *непрозрачной*. В этом случае все, что расположено от наблюдателя за треугольником, видно не будет. Во-вторых, оболочку можно сделать *полупрозрачной*. То, что находится за треугольником, будет видно, но как «в тумане». В-третьих, сделав оболочку *прозрач-*

ной, мы сможем наблюдать не только ребра треугольника — все остальное, что за ним находится, также будет видно.

С пространственным треугольником связано еще одно важное для визуального восприятия трехмерных фигур свойство — *освещенность плоскости* в пределах треугольника. Как это делается, будет пояснено отдельно. Здесь мы только скажем, что в зависимости от угла наклона плоскости треугольника к линии от источника света будут меняться оттенки цвета, выбранного для драпировки. Если треугольная плоскость будет видна наблюдателю и одновременно будет перпендикулярна направлению освещения, то для ее окраски будут использованы самые светлые оттенки выбранного цвета. При косом освещении оттенки будут более темными.

Все пространственные объекты в конечном счете состоят из пространственных треугольников.

Пространственный четырехугольник

Большое значение в трехмерном моделировании месторождений занимают *блочные модели*. В этих моделях стенки микроблоков, на которые разбивается месторождение, представляют собой пространственные четырехугольники. Так как это не *природное*, а навязанное природе разбиение геологического пространства, то плоскость в данном случае точно проходит через 4 точки. На самом деле каждая сторона блока (параллелепипеда) *невидимыми* линиями разбивается на 2 треугольника. Оба треугольника одинаково ориентированы в пространстве. Из-за этого у них совпадают и цвет, и освещенность. Поэтому (чисто визуально) мы воспринимаем их как общую плоскость, ограниченную четырехугольником.

9.5. Поверхности и тела

Все пространство недр геологическими границами (природными или искусственными поверхностями) разбито на геологические тела. Основными элемента-

ми трехмерных моделей месторождений являются модели геологических поверхностей и модели геологических тел.

Поверхности

Геологические границы только на плоских чертежах выглядят линиями, которые на самом деле являются следом пересечения *геологической поверхности* с другой геологической поверхностью (например, с дневной поверхностью) или с какой-нибудь *условной плоскостью* (например, с плоскостью вертикального разреза). Примеры: дневная поверхность, поверхность стратиграфического несогласия, поверхность сместителя разлома и т. п. Поверхность может быть реально наблюдаемым объектом, типа подошвы какого-нибудь стратиграфического горизонта. Поверхность может быть условной, невидимой. Например, она может определяться по данным опробования. Так определяются границы рудных тел во многих месторождениях.

В картографии давно были выработаны различные способы псевдообъемных изображений топографических поверхностей на плоскости: карты в изолиниях, карты с цветной раскраской высотных отметок, карты с «отмысками» (с тенями), карты с перспективным аэрофотоизображением рельефа. Все эти варианты картографических изображений поверхностей воплощены в программах трехмерного моделирования месторождений, но с одной существенной разницей. Картографические изображения все равно остаются плоскими, *псевдообъемными*. А в 3D-программах мы модель поверхности можем повернуть с разными наклонами, заглянуть даже с нижней, невидимой стороны. На этой модели четко можно определить, какая из гор выше, какая круче. Сюда нужно еще добавить «вайрфрэймовские модели» (*wireframe model*) поверхностей, что значит *проволочные* или *каркасные модели поверхностей*.

Объемные геологические тела

Недра (геологическое пространство) состоят из прилегающих друг к другу (сомкнутых друг с другом)

геологических тел, которые имеют определенный объем и отделены друг от друга геологическими поверхностями. Ограничения геологических тел могут быть разного типа. Это могут быть чисто геологические границы: подошвы или кровли пластов, эндоконтакты интрузивов, сместители разломов. Это могут быть скорее экономические, чем геологические границы, например контур руд, удовлетворяющих *кондициям* или принятой *глубине отработки* месторождения. Это могут быть границы лицензионно-правового характера, например *границы горного отвода* рудника. Так или иначе, объемное геологическое тело — это однородное (в определенном геологическом смысле) образование, полностью ограниченное в пространстве границами вышеназванного типа. Внутри этого однородного объемного геологического тела могут присутствовать другие геологические тела, например линзы пустых пород в рудном теле.

Для компьютерного трехмерного моделирования месторождений предложены два основных типа моделей — *каркасные* и *блочные*. Их смысл будет пояснен далее.

9.6. Горные выработки

Своеобразными, объемными телами являются практически все горные выработки. Их своеобразие заключается в том, что это тела с «*отрицательным*» объемом — они *пустые*. Так ствол скважины пуст — из него вынут керн. Также пустым является ствол полевого штрека — из него все безрудные горные породы вывезены в отвал. Пустым представляется и ступенчатое днище карьера. В чем-то похожи на подземные горные выработки карстовые пещеры — они тоже являются полостями с отрицательным объемом.

Скважины/Борозды

Борозды (от бороздового опробования горных выработок) можно уподобить буровым скважинам и рассматривать и те и другие вместе. Из-за малости попе-

речного сечения (радиуса) скважин и борозд по сравнению с размерами моделируемых геологических тел они изображаются как одномерные объекты, в виде линий выбранной толщины. В общем случае линия криволинейна. Трассировка ствола скважины по данным инклинометрии производится заранее. Ствол скважины может раскрашиваться в соответствии с пересекаемыми горными породами или в соответствии с содержаниями полезных компонентов. Устье и забой (в случае борозды *устье* и *забой* — условные понятия) могут показываться особыми значками (символами) и сопровождаться рядом надписей (номер скважины, глубина забоя и т. п.).

Подземные горные выработки

В большинстве 3D-программ существуют шаблоны сечения подземных горных выработок. Для горизонтальных и наклонных (уклоны) горных выработок обычно используют шаблоны в виде арок, а для вертикальных (шахты, шурфы, восстающие) — в виде окружности. Трассировка горных выработок ведется вдоль их осевой линии.

Карьеры

Карьеры, впрочем, как и все остальные горные выработки, могут выступать в двух «ипостасях» — в виде проектной горной выработки, которую еще только предстоит выработать, и в виде существующей открытой горной выработки. В последнем случае предстоит ввод исходных данных в виде ступенчатого днища по результатам теодолитных замеров, произведенных по кромкам уступов карьера. Геологическая документация и документация по данным опробования также привязываются к теодолитным ходам (документация может привязываться с помощью GPS). «Винтовая» линия кромки уступа карьера должна вводиться в компьютер наподобие ввода скважины по данным инклинометрии. Здесь тоже будут присутствовать: *азимут* прямой линии до следующей точки замера; *угол падения* (погружения) кромки карьера; *длина* очередного «прямолинейного» участка.

В случае проектирования карьера трехмерная модель месторождения уже должна существовать — проектировать карьер «в воздухе» бессмысленно.

Траншеи

Траншея (обычно — *подвижная* траншея) — это своеобразная разновидность карьера для отработки субгоризонтально залегающих полезных ископаемых, например фосфоритов. Ее особенностью является небольшая ширина при большой длине. Полезное ископаемое отрабатывается на всю длину траншеи. Затем траншея *передвигается* на следующую отрабатываемую полосу. В этих случаях документация эксплуатационной разведки по геологии и по качеству сырья вводится по данным вертикальных разведочных линий, которые можно уподобить вертикальным буровым скважинам. В таком виде эти данные и должны вводиться в компьютер.

Канавы

Отличие канав от других горных выработок заключается в том, что днище канав подчинено рельефу коренных пород, до которых должна «добраться» канава. Документация канавы во многом сходна с документацией кромки карьера. Только канавы стараются делать прямолинейными. Но *азимут* очередного «колена» канавы, *угол падения* (скольжения) дна канавы на этом отрезке и *глина* участка должны в документации присутствовать обязательно.

Бульдозерные расчистки

Бульдозерные расчистки — это те же канавы, только более широкие и, как правило, более глубокие за счет использования механической проходки рыхлых отложений. В бульдозерных расчистках по сравнению с канавами есть две особенности, которые необходимо учитывать: 1) бульдозерные расчистки — выработки довольно широкие. Рекомендуется документацию по всем расчисткам производить однообразно, например по западным стенкам расчисток; 2) на пересечении поперечных бульдо-

зерных расчисток с линией профиля нередко делают взаимно перпендикулярные расчистки «по голове» жилы. Важно, чтобы в документации этих двух перпендикулярных расчисток присутствовали общие точки с одинаковыми (прямоугольными) координатами.

9.7. Графические документы

3D-программы могут выводить на печать и на графопостроители разнообразные графические документы: колонки буровых скважин; вертикальные и горизонтальные геологические разрезы (погоризонтные планы); карты в изолиниях; геологические карты; фотодокументы. Печать перечисленных графических документов возможна только после того, как произведен ввод, по крайней мере, основных исходных данных. А многие из документов могут быть выведены на печать только после создания трехмерной модели месторождения.

9.8. Некоторые математические задачи трехмерного моделирования месторождений

В программах 3D-моделирования используется «графическое ядро», где собраны сотни подпрограмм и функций решения отдельных геометрических и графических задач. Вряд ли есть смысл все их перечислять. Упомянем лишь некоторые из задач: переход от одной системы координат к другой; различные преобразования координат; переход от двухмерных изображений к трехмерным — и обратно; смена одной проекции на другую, например перспективной проекции на параллельную; масштабирование одной из осей координат и т. д. и т. п. Некоторые из задач и способы их решения требуют пояснений.

Внутри или снаружи?

Есть пространственные задачи, которые человек «глазами» решает практически моментально, а компьютерная программа должна для ее решения «поломать себе голову». Одной из таких задач в двухмерном случае яв-

ляется задача определения положения точки внутри или снаружи полигональной фигуры на плоскости. Все, чем располагает компьютерная программа, это координаты точек полигона (контура) и координаты точки, про которую нужно сказать, где она находится. Оказалось, что это весьма сложная задача аналитической геометрии. В семидесятые годы прошлого столетия было предложено десятка два алгоритмов, из которых опытным путем была выбрана пара самых коротких и быстрых.

На самом деле задача еще сложнее, чем она сначала кажется. Дело в том, что внутри полигональной области могут быть другие полигоны. Представьте себе полигональную фигуру типа буквы «О». Нас интересует вопрос о попадании точки в черную кайму буквы.

В трехмерном случае задача выглядит гораздо сложнее, т. к. здесь требуется узнать, попадает ли точка в объемную фигуру, в которой могут быть инородные тела. Например, в рудном теле могут встретиться прослойки пустых пород. Но геометры и программисты справились и с этой задачей. Для этого пришлось разработать методологию каркасных поверхностей объемных фигур, например, рудного тела. Вся поверхность рудного тела разбивается на треугольники, координаты вершин которых известны. Через вершины треугольника проводится плоскость. Путем перебора всех плоскостей и решается вопрос о том, снаружи или внутри объемного тела находится интересующая нас точка.

Что видно, а что не видно?

Важным преимуществом трехмерного моделирования является возможность вращать объемные фигуры и рассматривать их с любой точки зрения, под любым углом, с любого ракурса. При таких вращениях одни фигуры могут закрывать другие полностью или частично. В любой момент программа должна решить массу задач на тему, какие части фигур сейчас видны, а какие нет. Задача осложняется еще и тем, что некоторые фигуры могут относиться к полупрозрачным фигурам. За такими фигурами должны «просвечивать» другие объекты.

Задача контроля видимости или, как говорят, устранения невидимых линий (и участков поверхностей для

цветных изображений) оказалась для машинного решения довольно сложной и требующей повышенного расхода машинного времени и оперативной памяти. Основная причина состоит в том, что в общем случае каждый из элементов смоделированного в трехмерном пространстве объекта может быть закрыт при наблюдении с той или иной точки зрения, любым другим элементом. Поэтому при увеличении количества элементов число их взаимных сопоставлений увеличивается в квадрате. Для растровой графики вопрос контроля видимости иногда решается проще, чем для векторной графики. Коснемся алгоритмов, применимых для векторной графики. Линии, изображающие объемные предметы и пространственные сцены, могут иметь различный смысл. Во-первых, это могут быть тонкие нити, стержни, которые загораживают лежащие за ними части объекта лишь в пределах собственной толщины. Во-вторых, линии могут изображать рисунок, нанесенный на какую-нибудь плоскость, поверхность. Сам по себе такой рисунок тоже ничего не загораживает. В-третьих, это могут быть края, граничные линии участков поверхностей, граней, которыми часть объекта заканчивается или по которым одна грань сопрягается с другой. Наблюдая объект, можно видеть и такие очерковые, или, как иногда говорят, контурные линии, которые для нашего глаза представляют видимую границу объекта, но на самом объекте их как таковых нет. Причины, по которым какая-либо линия может быть на проекции частично или полностью невидимой, могут быть двоякого рода: либо носитель линии (поверхность, грань, сплошное тело) повернут к наблюдателю «обратной» стороной, либо линия заслоняется более близкими к зрителю частями объекта. В связи с этим программы контроля видимости могут опираться на два критерия: критерий ориентации и критерий экранирования.

Пусть объект является выпуклым многогранником или выпуклой поверхностью, которая может быть представлена набором мелких граней. Если многогранник — сплошное тело, то ясно, что любая его грань может быть видима только с одной — наружной стороны. Пусть и кусок поверхности обладает таким же свойством. Вопрос: как аналитически проверить, с какой стороны видна

грань (часть поверхности) на проекции? Один из приемов такой. Нанесем на грань три пронумерованные точки, образующие треугольник — такой, чтобы при взгляде на эту грань с внешней стороны треугольник имел положительную ориентацию (чтобы направление обхода его вершин было положительным). Тогда на проекции признаком того, что грань видна с этой же наружной стороны, будет положительная ориентация проекции этого треугольника. Если известны координаты точек в первичной пространственной координатной системе, очевидно, можно найти координаты их образов в системе чертежа. Можно воспользоваться простой формулой, определяющей ориентированную площадь треугольника, или сходной формулой, подсчитывающей величину векторного произведения двух сторон треугольника, принятых за векторы: $C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)$. Знак величины C указывает, с какой стороны мы видим грань. Для правильной работы этого способа используемые преобразования координат должны сохранять ориентацию пространственных осей.

Другой прием заключается в том, что в какой-либо точке исследуемой грани или в точке поверхности строят нормальный к ним вектор, направленный «наружу», и определяют величину его проекции на луч зрения, направленный в его основание. Если знак проекции отрицательный — конец вектора ближе к наблюдателю, чем начало, а грань видна с наружной стороны, и наоборот. При использовании этого приема преобразования координат должны быть изометрическими (в расширенном смысле).

Однако этот метод не позволяет полностью устранить невидимые линии, необходимо также использовать контроль по экранированию. Как осуществляется этот контроль, любопытствующие читатели могут узнать из нескольких опубликованных источников (Фокс, Пратт, 1972; Фоли, ван Дэм, 1985; Котов, 1988; Аммерал, 1992).

Задача поиска ближайшей точки или ближайшей линии

В 3D-программах используется интерактивный режим общения геолога с компьютером. Этот режим подразумевает то, что они рисуют (создают модель) по

очереди — то рисует компьютер, то, используя курсор мыши, рисует на экране дисплея пользователь. Например, геологу нужно нарисовать линию контакта двух геологических тел между двумя скважинами. Он подводит курсор к первой скважине и просит программу (как это делается, мы не уточняем) найти точку контакта двух геологических тел на стволе скважины. Самому геологу точно навести курсор на точку трехмерного пространства на экране дисплея практически невозможно, т. к. каждый пиксель экрана соответствует нескольким метрам в реальности. Поэтому пользователь просит программу найти «ближайшую» точку нужного качества и произвести ее «захват». То же самое делается на следующей скважине. Потом рисуется линия контакта.

Такая задача геометрически не очень трудна, а вот с точки зрения создания понятного интерфейса, связывающего программу с пользователем, может оказаться логически довольно сложной.

Цвет

По современным стандартам любые графические пакеты должны соответствовать разным цветовым моделям. Лучшее всего известна RGB-модель (Red, Green, Blue). Но кроме нее должны использоваться: CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black); HSB (Hue, Saturation, Brightness); CIE Lab (Commission International d'Éclairage (L) компонента — яркость; (a) цветовая компонента — от зеленого к красному; (b) цветовая компонента — от синего к желтому); Grayscale.

Пользователь должен помнить, что цвета по-разному передаются на экране дисплея, на бумаге и на транспаранте (прозрачной пленке). И это происходит не только потому, что у некоторых принтеров и графопостроителей не все в порядке с драйверами. Здесь сказываются чисто технические ограничения некоторых устройств. Например, модель Grayscale способна на экране дисплея воспроизвести 256 оттенков серого цвета, а на принтере воспроизводится не более 50 уровней серого цвета.

Освещенность, блики, зеркальность, тени

В 3D-программах всегда присутствует **источник освещения** (в одних программах он называется *фонарем*, в других — *прожектором*). Пользователь может менять направление освещения и его интенсивность. В большинстве программ можно включить дополнительный прожектор и точечный источник света. Все эти возможности помогают достичь максимальной выразительности модели.

На самом деле задача интенсивности освещенности объекта является сложной оптико-геометрической задачей. Предположим, что направление падающего света совпадает с направлением наблюдения, т. е. перпендикулярно плоскости экрана. 3D-программы по умолчанию, действительно, выбирают такое направление. Основной источник света удален очень далеко, поэтому лучи света практически параллельны. Кроме этого источника будем предполагать наличие некоторой рассеянной составляющей, которая обуславливает, что не будут совершенно темными даже те части объекта, которые непосредственно не освещаются основным источником.

Интенсивность света, отраженного от поверхности, состоит из трех составляющих:

1. Рассеянная составляющая I_d , вследствие наличия освещения объекта от окружающей среды, например от стен комнаты.
2. Диффузионная составляющая I_d , которая в соответствии с законом косинусов Ламберта пропорциональна косинусу угла θ между направлением падающего света и нормалью к поверхности.
3. Зеркальная составляющая I_s , которая особенно применима к гладким и отражающим поверхностям, подобно зеркалу. Для полностью отражающей поверхности угол отражения равен углу падения.

Способ вычисления и комбинирования этих составляющих называется моделью освещения. Не углубляясь в суть предмета, скажем, что в большинстве случаев используется модель Фонга. Важно уяснить главное, то, что интенсивность освещенности вычисляется для всех плоских участков модели. Некоторые модели состоят из десятков тысяч микротреугольников. При каждом мини-

мальном повороте модели должны мгновенно осуществляться миллионы арифметических операций, для того, чтобы программа знала, какие детали модели видимы, а какие невидимы в данный момент, и чтобы успела рассчитать освещенность любого микротреугольника.

Пользователю также предоставляется возможность опробовать **стереоэффект**. В этом случае на экране появляется дубль модели, в различной степени смещенный относительно оригинала. Способности стереовидения у разных людей ощутимо отличаются. Некоторым приходится долго тренироваться, чтобы появился стереоэффект. Но зато потом они могут достичь высшей степени иллюзии объемности модели.

В некоторых других областях применения программ трехмерного моделирования, например в кинематографе, используются более продвинутые варианты графического ядра. В них уже присутствуют **тени** от высоких предметов, которые очень сложно рассчитывать, если источников освещения несколько. Все больше приближает 3D-модели к реальности учет **зеркальности** многих поверхностей — зеркал, стекол, полированной мебели. Отражение на таких поверхностях окружающих предметов — очень сложная задача проективной геометрии. То же самое можно сказать о **бликах** и **солнечных зайчиках**.

3D-программы трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых пока лишены перечисленных атрибутов «живой» реальности. Но, думается, и они вскоре появятся в этих программах.

9.9. Порядок создания трехмерной модели

Трехмерная модель (далее для краткости — 3D-модель) позволяет представить геологическую структуру месторождения самым наглядным образом. Это касается не только объемного облика рудного объекта, но и возможности рассматривать его под разными ракурсами при разном освещении. Готовую модель можно разрезать в любом направлении, построить разные блок-диаграммы в разных системах координат и в разных геометрических проекциях. Конечной целью такого мо-

делирования является получение как можно более точного пространственного отражения всех основных параметров рудных тел, что в конечном счете позволяет произвести подсчет запасов геостатистическим способом и составить проект разработки месторождения.

Рассмотрим очень кратко самые важные шаги при создании 3D-модели.

Исходные данные

Сначала в компьютер должна быть тем или иным способом введена максимально полная геологоразведочная информация по месторождению — база данных. Существует минимальный набор данных. Он состоит из следующих файлов: файл координат устьев всех скважин и горных выработок; файл инклинометрии; файл геологической документации; файл данных опробования. Покажем, как выглядят эти файлы, сопровождая примеры минимальными пояснениями.

Первый файл (файл координат устьев), фрагмент которого приведен в табл. 9.9.1, самый простой по структуре и прозрачности смысла столбцов. Поэтому в комментариях не нуждается.

Таблица 9.9.1

Фрагмент файла координат устьев

Номер выработки	Координаты устьев выработки			Глубина (длина) забоя
	X (восток)	Y (север)	Z (абс. отметка)	
...
166	181039,1	52592,7	225	225
168	181010	53040	240	358
...

Второй необходимый файл (табл. 9.9.2) содержит данные по инклинометрии скважин (или других горных выработок). В нем в столбце «Глубина замера» глубина последнего замера на забое должна совпадать с общей глубиной скважины, хранящейся в файле координат устьев скважин. Следует обратить внимание на знаки зенитных углов скважин, которые непривычны для геологов. Зенитные углы скважин, бурящихся снизу вверх, имеют положительный знак от 0° до +90°. Если скважины бурятся сверху вниз, то их зенитным углом приписывается знак минус от 0° до -90°.

Таблица 9.9.2

Фрагмент файла инклинометрии скважин

Номер скважины	Глубина замера (м)	Азимут (градусы)	Угол (градусы)
...
166	225 (забой)	198	-86
168	0	200	-85
168	20	201	-85
168	40	202	-84
...
168	320	198	-80
168	340	199	-80
168	358 (забой)	199	-80
170	0	200	-85

Следующий файл исходных данных (табл. 9.9.3) должен содержать данные по геологической документации горных выработок. В качестве примера приведены данные по документации двух скважин, пробуренных на Рубцовском полиметаллическом месторождении (Алтайский край России).

Таблица 9.9.3

Фрагмент файла геологии (геологической документации)

Номер выработки	Глубина от (м)	Глубина до (м)	Код породы
1	2	3	4
...
RUB-3	0,0	104,5	а
RUB-3	104,5	134,0	в
RUB-3	134,0	140,0	г
RUB-3	140,0	159,9	д
RUB-3	159,9	160,9	е
RUB-3	160,9	166,5	ж
RUB-3	166,5	208,0	з
RUB-3	208,0	310,0	и
RUB-3	310,0	518,3	к
...
RUB-132	0,0	96,0	а
RUB-132	96,0	109,5	б
RUB-132	109,5	140,0	в
RUB-132	140,0	150,0	г
RUB-132	150,0	166,2	д

1	2	3	4
RUB-132	166,2	166,7	е
RUB-132	166,7	178,0	ж
RUB-132	178,0	191,0	з
RUB-132	191,0	250,3	и
...

Примечание. В столбце «Код породы» записывается условный код породы. В нашем случае буквы значат следующее: а — кайнозойские песчано-глинистые отложения; б — алевролиты, аргиллиты, песчаники; в — надрудные вулканические породы; г — туфы кислого состава; д — зона над контактом горизонта туфов кислого состава; е — руда; ж — кварц-серицит-хлоритовый метасоматит; з — метасоматит (карбонатный); и — вулканиды кислого состава; к — субвулканы.

Одним из самых важных является файл данных опробования. В качестве примера в табл. 9.9.4 приведены данные опробования одной из подземных наклонных скважин Рубцовского месторождения.

Таблица 9.9.4

Фрагмент файла опробования

Номера выработок	Номера пробов	От (м)	До (м)	Координаты*			Содержание				
				X	Y	Z	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	S %
...
2078	110197	34	36	52568,4	181006,5	108,9	0,0	0,1	0,2	6,1	3,7
2078	110198	36	38	52569,5	181004,9	109,4	1,5	0,1	0,4	6,7	5,6
2078	110199	38	39	52570,3	181003,7	109,7	6,8	4,1	21,2	20,8	35,4
2078	110200	39	40	52570,9	181002,9	110,0	5,9	5,5	24,7	24,9	40,2
2078	110201	40	41	52571,4	181002,1	110,2	4,8	10,3	26,4	21,1	34,6
2078	110202	41	42	52572,0	181001,3	110,4	4,3	12,1	29,2	18,2	34,3
...

* **Примечание.** Координаты каждой пробы на самом деле сначала отсутствуют в файле исходных данных. Они появляются после определенных расчетов. Здесь они приведены, чтобы не вводить еще одну таблицу.

Проверка исходных данных

Одной из важных стадий в работе над созданием 3D-моделей является тщательная проверка исходных данных. Есть специальные программные средства, которые сравнивают все файлы друг с другом. Встречаются ли скважины во всех файлах? Не перепутаны ли номера скважин? Соответствует ли глубина инклинометрии общей глубине скважин? Не перепутан ли порядок проб? Ну и другие подобные вопросы.

Исправленные данные могут быть просмотрены в трехмерном пространстве. Для этого следует сделать трассировку скважин и горных выработок. По данным инклинометрии рассчитываются искривления стволов скважин. Трасса скважин с шагом, например, 1 м записывается в отдельный файл. Рассчитываются координаты середины интервала каждой пробы. После этого взаимное расположение скважин можно тщательно проверить в трехмерном пространстве. Отображая цветом разные горные породы и содержания полезных компонентов, можно понять, правильно ли введены данные по геологии.

Каркасы поверхностей

В геологии самое основное место занимают геологические поверхности. Они разбивают пространство месторождения на отдельные объемные фигуры — геологические тела, которые заполняют целиком весь объем недр. Поэтому в 3D-моделях методы имитации поверхностей имеют исключительное значение.

Существует довольно много способов моделирования (или изображения) поверхностей. Но, когда мы переходим в 3-мерное пространство, все они оказываются практически одинакового типа, который называется «каркасным моделированием поверхностей». В английском языке для этого типа моделей используется составной термин *wireframe*. Наиболее точный перевод этого слова — «проволочный каркас» или «проволочный скелет». Определение «проволочный» в русскоязычных программах употребляется только тогда, когда каркас не «задрапирован», не «одет» в какую-нибудь

цветную непрозрачную «ткань», и поэтому на просвет видны все ребра каркаса. В других случаях говорят просто о «каркасах» или о «сплошных каркасах» (solid frame).

Итак, в трехмерном варианте все поверхности представляются каркасами, причем вся поверхность разбивается на треугольники, как правило, разного размера. Разбиение области на треугольники (другими словами — **триангуляция**) должно осуществляться по определенным правилам. Во всем мире общепринято производить триангуляцию по Б.Н. Делоне.

Триангуляция Делоне

Борис Николаевич Делоне (1890—1980) — крупнейший российский математик-геометр — на математическом конгрессе в Торонто (Канада) в 1924 г. предложил **«метод пустого шара»**. Представим себе произвольную дискретную систему точек в пространстве и пустим туда летать шар, как летает мыльный пузырь. Шар «пустой» в том смысле, что в него не должна попадать ни одна точка данной системы. Но пусть шар этот раздувается. Тогда он неизбежно наткнется хотя бы на одну точку системы, но его еще можно будет раздувать. И так до тех пор, пока на его поверхности не окажется столько точек, что дальше раздуваться он не сможет. Это заведомо наступит, если на нем окажутся четыре точки, не лежащие в одной плоскости, — это будут вершины тетраэдра, вписанного в этот шар.

Если представить себе эту картину в пространстве затруднительно, посмотрим на ее более простой вариант: на **пустой круг** среди системы точек на плоскости. Будем двигать и «раздувать» круг (рис. 9.9.1). Вот он уткнулся в одну точку А (рис. 9.9.1, а). Далее круг продолжает раздуваться, пока на его границе не окажется точка В. При этом центр круга, отмеченный крестиком, смещался на рисунке вправо (рис. 9.9.1, б). На следующем этапе круг наталкивается на точку С и дальше уже раздуваться не может (рис. 9.9.1, в). Если теперь заставить круг как бы «пролезть» сквозь отрезок СВ, то, раздуваясь от точек С и В вправо, он наткнется на точку D. Получим два треугольника ABC и CBD, смеж-

ных по стороне СВ (рис. 9.9.1, г). Так получается разбиение всей плоскости на треугольники. В плоском случае это и есть алгоритм разбиения, который называется **триангуляцией Делоне**.

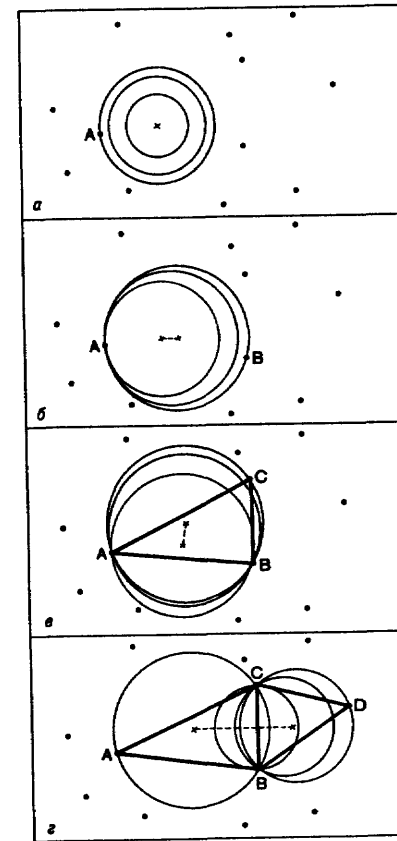


Рис. 9.9.1. Метод пустого шара Б.Н. Делоне (по Александрову, 1980)

Проволочный каркас

Представим себе, что у нас есть карта точек, отмечающих устья наземных скважин, пробуренных на месторождении. Произведем триангуляцию Делоне на этой системе точек. Это — двумерное поле точек. Но

ведь устье каждой буровой скважины имеет еще и высотную отметку. Если мы работаем в 3D-программе, то можем повернуть модель на любой угол в любом направлении и убедиться лишний раз, насколько трехмерная модель поверхности в виде проволочного каркаса нагляднее плоской карты.

В случае проволочного каркаса его ребра видны на просвет (рис. 9.9.2), а если он задрапирован (затянут) оболочкой, то мы видим только те грани и ребра поверхности, которые не закрыты от нас другими гранями и ребрами (рис. 9.9.3).

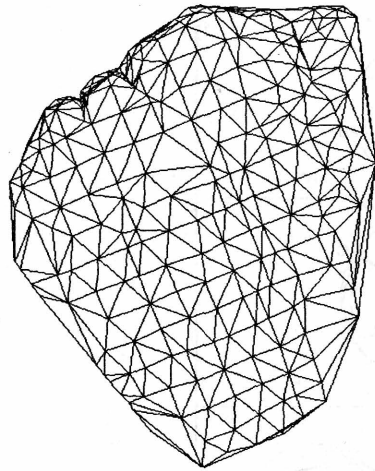
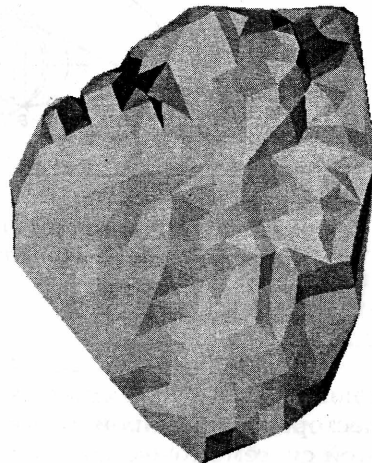


Рис. 9.9.2. Проволочный каркас дневной поверхности Вострянского участка Егорьевского фосфоритового месторождения, построенный триангуляцией Делоне

Рис. 9.9.3. Сплошной каркас дневной поверхности Вострянского участка Егорьевского фосфоритового месторождения. Рельеф участка «угадывается» по полутоновой раскраске пространственных треугольников



Цифровые модели поверхностей (ЦМП)

Если создан проволочный каркас поверхности, по нему можно построить изолинии. Этот способ построения карт в изолиниях многие десятилетия тому назад (еще в докомпьютерные времена) использовали геологи — строили вручную треугольники, а внутри них проводили прямые интерполяционные линии. И назывался этот метод методом **линейной интерполяции**. Теперь он называется иначе — **цифровые модели поверхностей**, но суть его осталась прежней. В области с точками высотных отметок проводится триангуляция Делоне. Ребра, соединяющие точки, образуют каркас, каждая вершина которого имеет свою высоту. На каждом пространственном треугольнике строится плоскость и проводятся изолинии. На английском языке эта процедура ЦМП называется DTM (*Digital Terrain Model*). На рис. 9.9.4 показана карта в изолиниях дневной поверхности месторождения, созданная таким способом.



Рис. 9.9.4. Карта изолиний рельефа дневной поверхности, построенная по методу ЦМП. Вострянский участок Егорьевского месторождения фосфоритов

Недостаток такой карты заключается в резкой изломанности изолиний. В 3D-программах есть возможность сгладить угловатые изолинии. Но так как каждая изолиния сглаживается отдельно, близко расположен-

ные сглаженные изолинии могут пересекаться. Но есть еще много других методов построения карт в изолиниях. Прежде чем познакомить читателя с некоторыми из них, необходимо ввести новые термины — *грид* и *гридинг*.

Гриды, гридинг

Гридинг (*gridding*) — это процедура перехода от неравномерного распределения точек исходных данных к равномерному, правильному в узлах сети (*grid*), размеры которой задаются геологом. Грид — это не просто сеть, а еще и результат гридинга — интерполяции данных в узлах правильной сетки. Гридом также называется матрица, в которую записываются результаты интерполяции. Существует по меньшей мере 15 методов интерполяции, которые дают ощутимо разные результаты: метод простого скользящего среднего; ближайшего соседа; реального ближайшего соседа; обратного расстояния в степени; модифицированного Шеппарда; базисных радиальных функций (5 функций); наименьшей кривизны; полиномиальной регрессии; локальный полиномиальный; триангуляции с линейной интерполяцией; кригинг.

В большинстве 3D-программ реализована только половина этих методов. Обычный набор: метод наименьшей кривизны; метод обратного расстояния в степени; метод ближайшего соседа; метод кригинга и, под названием ЦМП, метод триангуляции с линейной интерполяцией. Можно сказать, что используется и метод полиномиальной регрессии, но не с целью интерполяции, а чтобы устранить тренд — явную закономерность в пространственном распределении изучаемого признака.

У каждого из перечисленных методов интерполяции есть и свои плюсы, и свои минусы. Но в нашу задачу не входит прояснить «подводные камни» каждого из методов. Мы здесь приведем пример только еще одного метода — обратных расстояний в степени как альтернативного метода для метода триангуляции с линейной интерполяцией.

Метод обратных расстояний дает более гладкие узоры рельефа (рис. 9.9.5). Поэтому он широко используется. В этом способе исходные точки входят с весом, обратным квадрату расстояния до рассчитываемой точки грида. Карту в изолиниях не трудно превратить в проволочный каркас, в котором показаны узлы правильной, регулярной сети (в данном случае 50×50 м), соединенные прямыми линиями (в проекции на горизонтальную плоскость). Следует обратить внимание на то, что в этом проволочном каркасе (рис. 9.9.6) в каждом квадрате проведены диагонали. Благодаря этому регулярный каркас, построенный по методу обратных расстояний, состоит также из пространственных треугольников, как и каркас, построенный триангуляцией Делоне (рис. 9.9.2), но является его сглаженным вариантом.

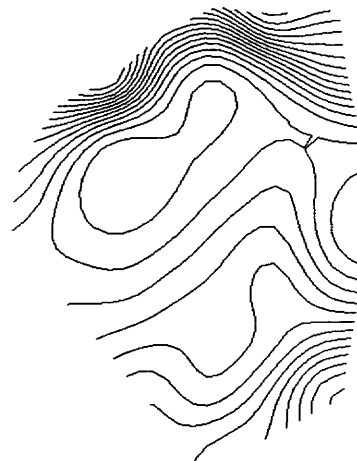
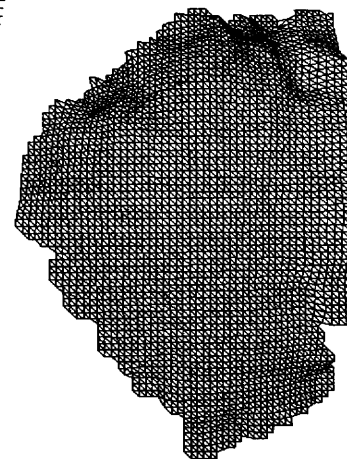


Рис. 9.9.5. Карта изолиний рельефа дневной поверхности, построенная по методу обратных расстояний в степени. Вострянский участок Егорьевского месторождения

Рис. 9.9.6. Проволочный каркас дневной поверхности Вострянского участка Егорьевского фосфоритового месторождения, построенный по гридингу обратных расстояний в степени. Размер ячеек грида 100×100 м



Каждый пространственный треугольник имеет собственную ориентировку по отношению к источнику света и линии наблюдения. Поэтому, как и на рис. 9.9.3, мы можем показать на дисплее полутоновое изображение каркаса (рис. 9.9.7). Приписав каждому треугольнику среднюю высотную отметку высот его вершин, мы можем раскрасить каждый пространственный треугольник наподобие географических карт. Полученная картина (рис. 9.9.8) значительно информативнее, чем проволочные каркасы или полутоновые изображения. Но настоящая иллюзия объемного изображения возникает только тогда, когда мы на экране дисплея вращаем рисунок, имея возможность заглянуть на моделируемую поверхность даже снизу (из-под нее). К сожалению, анимация рисунков в учебниках, изготавливаемых типографским способом, пока еще не достигнута.

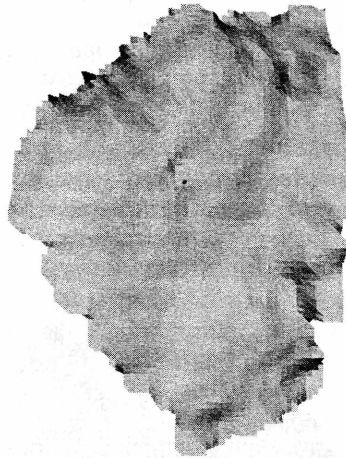


Рис. 9.9.7. Сплошной каркас с полутоновой окраской дневной поверхности Вострянского участка Егорьевского фосфоритового месторождения, построенный по гридингу обратных расстояний в степени. Размер ячеек грида 50 × 50 м

Рис. 9.9.8. Сплошной каркас (в оригинале с цветной раскраской) дневной поверхности Вострянского участка Егорьевского фосфоритового месторождения, построенный по гридингу обратных расстояний в степени. Размер ячеек грида 50 × 50 м



Каркасные модели геологических тел

Объемное геологическое тело может быть построено несколькими способами. Один из способов заключается в том, что мы сначала строим каркасную модель кровли геологического тела, а затем строим каркасную модель его подошвы. Далее довольно хитрым способом, который здесь не поясняется, «сшиваем» кровлю с подошвой. Получается замкнутое, объемное, геологическое тело, например рудная залежь. В этом способе творческое участие геолога минимально. Каркасы подошвы и кровли рудного тела рассчитываются автоматически. Да и соединение каркасов происходит практически «на автомате». При этом в минимальной степени используются геологические разрезы, погоризонтные планы и другие виды геологической документации.

Может быть, поэтому в основные выделился метод построения каркасных моделей геологических тел с помощью стрингов.

Стринги

String — это английское слово. Его перевод — «нить» или «струна» — почти ничего не говорит геологу о смысле процедуры построения стринга. Хотя, построив несколько стрингов, геолог начинает догадываться, что стринг (в самом обычном случае) — это контур геологического тела в разрезе. Построение стринга очень напоминает построение геологического тела в горизонтальном или вертикальном разрезе. На экран дисплея выводится разведочный план, на котором геолог задает линию разреза, который должен построить компьютер. Вдоль осевой линии будущего разреза с обеих сторон программа проводит еще две (штриховые) линии. Это значит, что при построении разреза будут учитываться все скважины, попавшие в эту зону, например ± 50 м (ширину зоны задает геолог).

3D-программа выводит на экран дисплея все скважины, попавшие в указанные границы. Она расцветчивает стволы скважин в зависимости от геологии или содержания выбранных полезных компонентов. В на-

шу задачу входит «обвести контур» намеченного рудного тела в разрезе. Когда мы обводим контур тела на экране дисплея (или на дигитайзере), в файл стринга автоматически записываются 3 координаты всех точек, которые мы отмечаем на контуре. Таким образом, получается стринг (контур) геологического тела в данном разрезе. Причем нужно, чтобы обход контура всегда делался в одну сторону — по часовой стрелке или против часовой стрелки. Такой способ обхода должен быть един на всем протяжении моделирования месторождения.

Мы строим стринги данного геологического тела во всех разрезах. Если изобразить все построенные стринги по этому телу вместе, то получится своеобразная блок-диаграмма внешних контуров геологического тела в 3D-пространстве (рис. 9.9.9). С помощью специальной процедуры эту группу стрингов можно превратить в объемное геологическое тело. Такую процедуру можно называть *драпировкой* или *декорированием*. Она представляет собой, образно говоря, «натягивание оболочки» (материи выбранного цвета) на каркас из стрингов. На рис. 9.9.10 показан рабочий момент такой драпировки, а на рис. 9.9.11 изображен окончательный результат — объемная каркасная модель геологического тела, к которой добавляется определение *solid*, т. е. «сплошная» («цельная»).

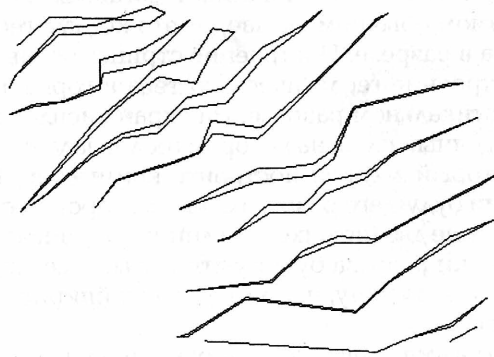


Рис. 9.9.9. Серия стрингов — контуров рудного тела во всех разрезах. 2-е рудное тело Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай)

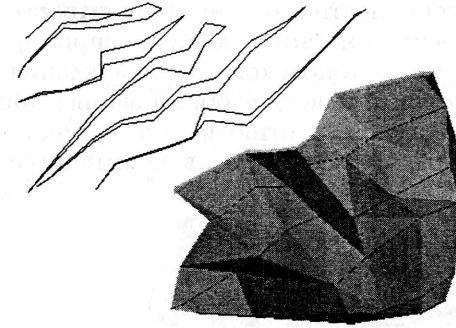


Рис. 9.9.10. Эпизод «натягивания» оболочки на стринги всех разрезов. 2-е рудное тело Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай)

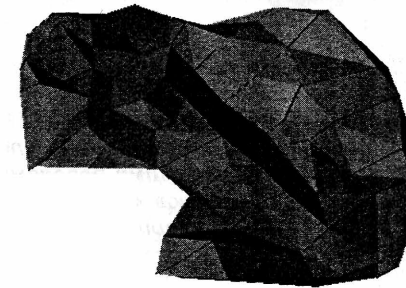


Рис. 9.9.11. Законченный каркас геологического тела, построенный из стрингов. 2-е рудное тело Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай)

Полная каркасная модель

Создав с помощью стрингов каркасные модели всех геологических тел месторождения, можно их собрать в *полную* каркасную модель (рис. 9.9.12). Эту своеобразную блок-диаграмму можно вращать, рассматривая с разных сторон.

У такой «плотной» модели есть существенный недостаток — она не позволяет заглянуть внутрь недр. Но в 3D-программах есть возможность раздвинуть различные геологические слои (рис. 9.9.13). Такая раздвинутая полная модель значительно нагляднее отражает все

основные особенности геологической структуры моделируемого участка месторождения. Например, на раздвинутой модели Рубцовского месторождения хорошо видно, что метасоматические образования (второй слой снизу) распространены отнюдь не повсеместно на месторождении, а сосредоточены в западной его части.

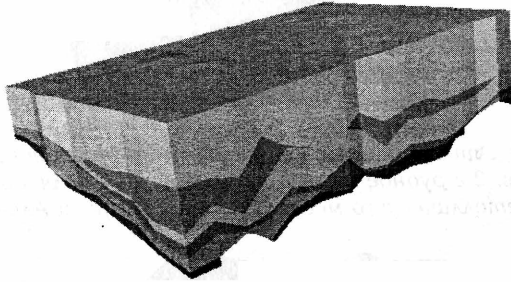


Рис. 9.9.12. Полная каркасная модель Рубцовского месторождения.

Сверху вниз: песчано-глинистые отложения; алевролиты, аргиллиты, песчаники; зона контакта между подрудными вулканическими и рудовмещающими породами; туфы кислого состава; горизонты туфов кислого состава; руда; метасоматит (кварц-серицит-хлоритный); метасоматит (карбонатный); вулканы кислого состава; субвулканы

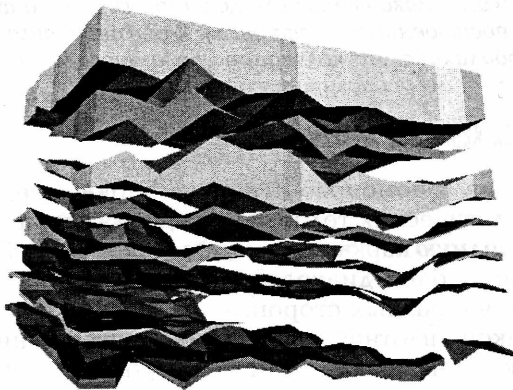


Рис. 9.9.13. Раздвинутая полная каркасная модель Рубцовского месторождения

Блочные модели

Моделируемое пространство недр можно разбить на микроблоки, например $10 \times 10 \times 10$ м. Каждому блоку можно приписать ту горную породу, которая обнаружится в центре блока. Это и будет простейшая блочная модель месторождения. В случае Рубцовского месторождения такая модель будет слишком грубой — ведь здесь в некоторых частях рудное тело имеет метровую мощность. Чтобы модель отображала тонкие прослои, необходимо уменьшить высоту блоков.

Обычно создают блочные модели не всего месторождения целиком, а только его рудной части — блочные модели рудных тел. Размеры блоков тщательно согласовывают со способом добычи и с производительностью рудников. Желательно, чтобы размер блоков не превышал $1/4$ часть дневной добычи. Например, если планируется, что рудник будет добывать в день 1000 т руды, а плотность руды $2,8 \text{ т/м}^3$, то нетрудно прикинуть, что на каждом из четырех добычных забоев в день нужно добывать блок размером приблизительно $4,5 \times 4,5 \times 4,5$ м.

Блочная модель строится в следующем порядке. Сначала создается пустая блочная модель — весь моделируемый объем заполняется пустыми блоками заданного размера. Затем для каждого рудного тела ищутся блоки, пересекающиеся с каркасами соответствующих рудных тел. Только они и оставляются в модели, а остальные «выбрасываются». Далее выбирается одна из процедур интерполяции, и для каждого блока определяются интересующие нас параметры рудных тел — содержания полезных компонентов, средняя мощность. Если используется геостатистический метод оценки запасов, то в качестве интерполяционной процедуры используется кригинг — специализированная операция сглаживания, которая обеспечивает минимальную дисперсию оценки. На рис. 9.9.14 для примера приведена блочная модель одного из рудных тел Корбалихинского колчеданно-полиметаллического месторождения на Рудном Алтае.

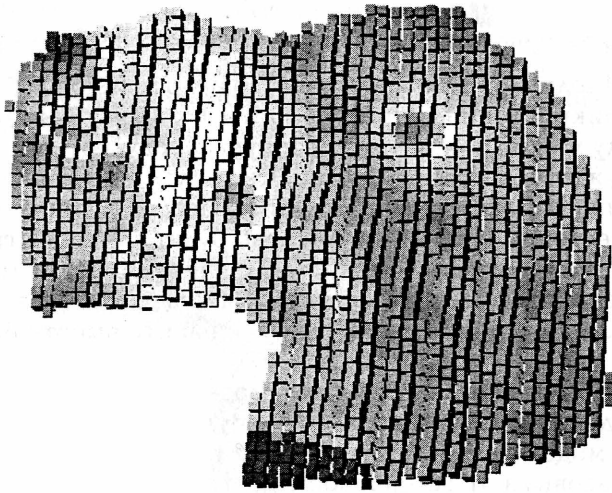


Рис. 9.9.14. Блочная модель 2-го рудного тела Корбалихинского месторождения. Блоки раскрашены в соответствии с содержаниями Zn в блоках

9.10. Геостатистические методы подсчета запасов

И вот завершена детальная разведка месторождения. Что же делать дальше? Нужно искать спонсора (или нескольких спонсоров), которые бы согласились оплатить сначала проектирование горнорудного предприятия, а затем сделать серьезнейшие капиталовложения в осуществление проекта. Начиная с этого момента и вплоть до полной отработки месторождения рекомендуется использовать геостатистические методы оценки запасов месторождений.

Немного истории геостатистики

Геостатистика была введена в обиход геологов в начале 60-х гг. французским ученым Жоржем Матероном и его учениками А. Журнелем, М. Давидом, Ч. Хуйбрехтом, А. Марешалем. Ж. Матерон защитил свою диссертацию в 1962 г. В 1964 г. она была издана в виде двухтомной монографии во Франции. Пропа-

гандируя свои идеи, он опубликовал несколько статей в научных журналах, съездил с лекциями в разные страны. В 1966 г. Ж. Матерон прочел несколько лекций на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. В 1968 г. его монография, специально им переработанная, вышла в переводе на русский язык в СССР.

В семидесятые годы его ученики собрали и обработали громадный материал по месторождениям разных типов полезных ископаемых. Они развили и отшлифовали многие идеи своего учителя, опубликовали несколько монографий и учебников (Марешаль, 1975; Давид, 1977; Журнель и Хуйбрехт, 1978). До середины 1980-х гг. в журналах по математической геологии нет-нет да появлялись статьи с критикой геостатистического подхода к решению задач подсчета запасов. Но к концу 80-х гг. геостатистика, можно сказать, завоевала уже весь мир. Она была признана всеми странами, кроме СССР и его преемницы — России.

Сложилась парадоксальная ситуация — Россия была первой страной в мире, в которой в переводе была издана книга Ж. Матерона. И именно Россия оказалась чуть ли не последней страной, в которой до сих пор геостатистика официально (на уровне ГКЗ — Государственного комитета по запасам) не «узаконена»? В чем здесь дело?

Рудопотоки и микроблоки

А дело здесь в том, что в СССР горнорудная и металлургическая промышленность была построена совсем по другим и организационным, и хозяйственным принципам, чем в развитых капиталистических странах. В них редко бывает, когда одна и та же фирма и разрабатывает месторождение, и перерабатывает руду. Даже когда горняки и обогатители входят в одну корпорацию, взаимоотношения у них строятся на контрактной основе. Например, в контракте записано, что рудник должен поставлять на обогатительную фабрику каждые сутки тысячу тонн медной сульфидной руды с содержанием меди $5,0 \pm 0,3$ %. Даже не обсуждается вариант поставки руды больше (или меньше), чем заявленные тысяча тонн. Рудник должен привезти на обогатительную фаб-

рику ровно 1 тыс. т руды. К тому же она по качеству должна укладываться в заданный интервал содержания меди — от 4,7 до 5,3 %. Если рудник поставит более бедную руду, скажем, 4 % Cu, то несколько тонн дорогих флотационных агентов (пусть будет флотационное обогащение) израсходуется впустую. Если же рудник привезет руду более богатую (6 %), 1 % Cu уйдет в хвосты, так как этих же флотационных агентов не хватит в растворах, чтобы извлечь этот один «лишний» процент меди. А это опять прямой убыток.

Значит, рудник должен **держат** **рудопоток постоянным по качеству и количеству**. А руда в разных местах месторождения разная — то богаче, то беднее. Поэтому нельзя отрабатывать один богатый участок или один бедный. Нужно руду из них смешивать, чтобы рудопоток не выходил за определенные пределы содержания меди. Лучше отрабатывать сразу несколько участков с разными рудами, чтобы иметь простор для варьирования состава руд. Из практики известно, что неплохо, когда разрабатываются сразу 4 (или более) участка или блока. Какого размера должны быть эти блоки?

Пусть, как уже говорилось, рудник должен поставлять каждые сутки 1 тыс. т руды. Пусть объемный вес руды равен 3 т/м^3 . Значит, 1 тыс. т руды будет занимать объем (в недрах до разрыхления) примерно $333,33 \text{ м}^3$. Если мы будем разрабатывать этот объем в четырех блоках, то каждый блок должен иметь объем приблизительно $83,33 \text{ м}^3$. Этот объем равен объему прямоугольного параллелепипеда со сторонами $5 \times 4 \times 4,17 \text{ м}$.

Конечно, размеры блока, зависят от того, каким методом будет разрабатываться месторождение. В карьере размер блока будет определяться высотой добычного уступа. Если это подземная добыча, то она может осуществляться многими способами: слоевым обрушением, лавой, слоевым штреком, системами с магазинированием и другими. Такие элементы горных выработок, как высота кровли подземной горной выработки диктуют один из возможных размеров добычного блока — его высоту. Например, при сечении горной выработки $3 \times 3 \text{ м}$ (добыча слоевым штреком) для того, чтобы добыть $83,33 \text{ м}^3$ руды, придется нарезать блоки размером $3 \times 3 \times 9,26 \text{ м}$. Такую длину блока (9,26 м) можно

будет пройти только за несколько уходов-циклов: бурение шпуров > отпалка > уборка руды и породы. За день провести несколько таких циклов не удастся. Тогда придется увеличить количество добычных забоев и соответственно снизить размеры блоков.

В общем на размер блока влияют: геологические причины, горные условия, особенности технологии обогащения, имеющиеся добычное и транспортное оборудование. И решать вопрос о размерах блока, составляя проект будущего рудника, должны все вместе: геологи, горняки, технологи, специалисты по оборудованию и даже финансово-экономические деятели.

Блочные модели рудных тел

В соответствии с намеченными в дискуссиях разных специалистов размерами блоков и их ориентации строится блочная модель каждого рудного тела месторождения (или каждого **геологического блока** неоднородной залежи). Построение блочной модели начинается с создания **пустой блочной модели**. Пустая блочная модель строится с учетом размеров рудного тела по всем трем координатам. Модель протягивается от одного конца рудного тела на западе до другого конца — на востоке, от точки выклинивания рудного тела на глубине до его самой верхней кромки (или до выхода на дневную поверхность) и от самой северной границы рудного тела до его южной границы. Одним словом, нужно задать границы прямоугольного параллелепипеда таким образом, чтобы рудное тело полностью в нем поместилось. Так как по всем трем направлениям должно укладываться целое количество блоков, то всегда размеры этого **макроблока** берутся с некоторым избытком по сравнению с размерами рудного тела в соответствующем направлении.

Затем прямоугольный параллелепипед разбивается на блоки. Обычно таких блоков оказывается сотни тысяч, а в крупных месторождениях нередко речь идет о десятках миллионов блоков. Но, к счастью, все эти блоки не нужны. Необходимо хранить лишь те блоки, которые пересекаются с рудным телом, упрощенно говоря, лишь те блоки, в которых есть руда. Отбор

«рудных» блоков производится специальными процедурами, присутствующими во всех программах трехмерного моделирования месторождений. Эти процедуры ищут взаимное пересечение **каркасной модели** рудного тела с пустой блочной моделью.

Как правило, рудных блоков оказывается (в зависимости от геологической структуры месторождения) в 10, а то и в 100 раз меньше общего числа блоков в пустой блочной модели. Но все равно в блочной модели оказывается десятки и сотни тысяч рудных блоков. По всем этим блокам приходится хранить массу информации, которая будет охарактеризована дальше. Здесь же отметим то, что блочные модели могут быть двух типов: **факторные** и **субблочные**.

Факторная блочная модель отличается тем, что все блоки в этой модели имеют одинаковые размеры. Но каждый блок характеризуется своим **фактором** (коэффициентом, множителем, долей), показывающим, какая доля объема блока занята рудным телом. Если блок целиком состоит из руды, то фактор равен единице ($f = 1,0$). Если в блоке совсем не было бы руды, то фактор равнялся бы нулю ($f = 0,0$). Но такие «пустые» блоки, как уже говорилось, удаляются из модели. Блоки с малыми значениями факторов характерны для граничных областей рудного тела. Блоки со значениями, близкими к единице, характерны для центральных частей рудных тел.

Субблочная модель отличается тем, что блоки в ней могут быть разного размера. Геолог заранее решает вопрос, на какие по размеру части исходный («родительский») блок может быть **дискретизирован** (разбит) по каждой из сторон блока. В принципе, родительский блок можно разбить на любое количество субблоков. Но при разбиении на субблоки нужно руководствоваться здравым смыслом. Слишком маленький размер субблоков неразумен. В нашем примере речь шла о блоках размером $5 \times 4 \times 4,17$ м. Если каждую сторону блока дискретизировать на 10 частей, то конечный размер субблоков будет $0,5 \times 0,4 \times 0,4$ м. Вряд ли кто-нибудь будет отдельно обрабатывать кубический микроблок размером 50×40 см. Некоторые ограничения на разбиение оказывают условия. Например, нередко в

кондициях указывается, что рудное тело разрабатывается при мощности, скажем, не менее 1,2 м. Вероятно, и разбиение блока по направлению мощности на субблоки, меньшие этой величины, неразумно.

Субблок — это элементарный блок, который создается системой в пределах заданного родительского блока в случае, если через родительский блок проходит поверхность каркасной модели. То есть, иными словами, при пересечении родительского блока каркасной моделью блок нарезается на блоки меньшего размера (субблоки).

В связи с употреблением субблоков или факторной модели обычно возникает такой вопрос, какие модели лучше использовать — с факторами или с субблоками? Если в проекте используются простые каркасные модели без взаимных пересечений, то лучше создавать факторные модели. Если же в проекте существует несколько взаимно пересекающихся каркасных моделей, то лучше использовать субблоки, так как в этом случае не возникнет путаницы с факторами и не надо создавать формул для вычисления факторов блоков в местах пересечения каркасных моделей.

Субблочные модели дают возможность более точно передать форму рудного тела, особенно если мощность рудного тела изменчива и встречаются участки, где мощность рудного тела существенно меньше исходного размера блока. Кроме того, моделями с субблоками точнее передается кромка рудного тела. По этой причине и по ряду других обстоятельств многие геологи отдают предпочтение субблочным моделям. В нашем примере размер родительского блока равен $5 \times 4 \times 4,17$ м. Если разрешить программе проводить дискретизацию каждой стороны на 3 субблока, то родительский блок может быть разбит на 27 субблоков размером $1,67 \times 1,33 \times 1,39$ м.

Непригодность традиционных методов подсчета запасов в микроблоках

Российские геологи на вековом опыте убедились, что традиционные методы подсчета запасов месторождений полезных ископаемых — метод геологических

блоков, методы разрезов и другие — дают удовлетворительные результаты. В целом по всему месторождению (или по его самым крупным рудным телам) погрешности подсчета запасов по разным видам полезных ископаемых не превышают $\pm 10\%$. Но сейчас, при разработке месторождений по современным технологиям, требуется не только точность подсчета запасов по всему месторождению в целом, но и точность подсчета запасов в небольших блоках рудного тела. В такой ситуации, оказывается, традиционные методы непригодны.

Рассмотрим два примера.

Пример 1. Пусть на рис. 9.10.1 изображен разрез рудного тела простейшей формы в виде равнобедренного треугольника. Допустим, что рудное тело «пробурено» десятком скважин, которые не показаны с единственной целью — не затемнять смысл рисунка. Нам нужно оценить площадь сечения рудного тела. Рассчитаем его среднюю мощность и отразим ее на чертеже. Любому мало-мальски сведущему в геометрии человеку ясно, что площадь прямоугольника со средней мощностью равновелика треугольнику. Это однозначно говорит о том, что **средняя мощность** позволяет получить **точную оценку площади сечения рудного тела**. Но здесь сразу же нужно добавить то, что средняя мощность позволяет получить точную оценку сечения **всего рудного тела целиком**. А если нам нужно получить оценку мощности рудного тела в каком-то определенном месте разреза? Подойдет ли тогда для этой цели средняя мощность? Ни в коем случае.

Посмотрите на рис. 9.10.1. Там есть всего два места (две точки), в которых средняя мощность является точной оценкой. А во всех других местах эта оценка не подходит. Она всюду дает ошибку. Причем ошибка от этих двух мест нарастает в разные стороны. По *традиционной вариационной статистике* основные характеристики распределения исследуемой переменной — **среднее и дисперсия** — принимаются **постоянными** на всем изучаемом пространстве. Но это же не так! Причем чем закономернее изменяется изучаемая переменная в пространстве, тем очевиднее несостоятельность этих оценок.

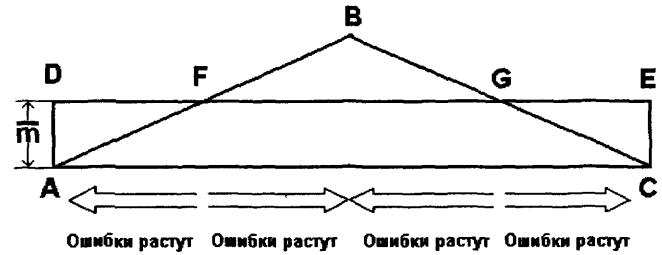


Рис. 9.10.1. Разрез треугольного по форме рудного тела. Равновеликий треугольнику прямоугольник с высотой, равной средней мощности \bar{m}

Пример 2. Пусть на скарновом полиметаллическом месторождении в трех буровых скважинах было отобрано по 10 метровых керновых проб. Они были проанализированы на содержание свинца. Полученные результаты приведены в табл. 9.10.1.

Таблица 9.10.1

Содержания свинца (в %) в трех скважинах

№ скв.	Порядковые номера проб									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
2	2,0	1,0	4,0	7,0	3,0	6,0	9,0	5,0	10,0	8,0
3	7,0	4,0	8,0	1,0	9,0	3,0	5,0	10,0	3,0	6,0

Для наглядности эти данные приведены на трех рисунках (рис. 9.10.2).

На рис. 9.10.2, а содержания Pb абсолютно закономерно увеличиваются от 1 до 10 % от первой до десятой пробы. На рис. 9.10.2, б содержания Pb проявляют тенденцию к возрастанию от первой до десятой пробы, но эта тенденция выступает в виде тренда (дрифта). На рис. 9.10.2, в содержания Pb изменяются достаточно случайным образом.

Если мы для каждого из этих случаев рассчитаем основные статистические характеристики содержаний Pb, которые обозначим x :

$$\text{среднее арифметическое } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i ;$$

стандартное отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}$;

коэффициент вариации $V = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100 \%$,

то мы с удивлением обнаружим, что во всех трех случаях они абсолютно одинаковы: $\bar{x} = 5,5$; $\sigma = 3,35$; $V = 61 \%$.

Это однозначно свидетельствует о непригодности среднего, стандартного отклонения и коэффициента вариации для характеристики изменчивости основных разведочных параметров.

Значит, нужно искать какой-то другой способ учета пространственной изменчивости геологоразведочных параметров.

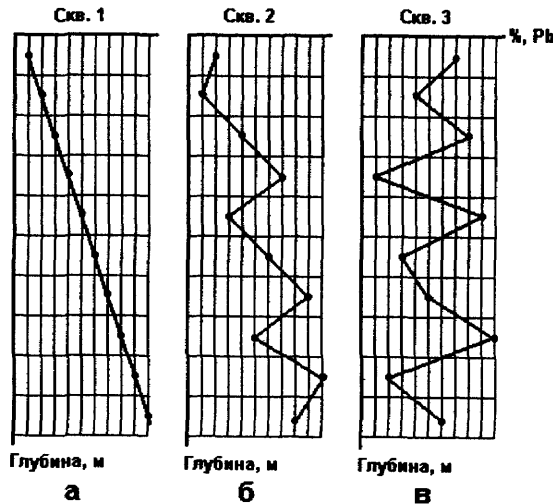


Рис. 9.10.2. Графики изменения содержаний свинца по трем вертикальным буровым скважинам

9.11. Вариограммы

Используя для оценки площади рудных тел методы вариационной статистики, мы убедились в том, что средняя мощность позволяет достаточно точно вычис-

лить площадь всего рудного тела целиком. Но если нам нужно будет оценивать площади в небольших частях рудного тела, то средняя мощность для этой цели явно не годится. Столь же мало подходит дисперсия для оценки ошибок определения площади небольших участков рудного тела. Коэффициент вариации также плохо подходит в качестве показателя изменчивости, так как он не реагирует на закономерную составляющую изменчивости.

В подходе описания изменчивости с точки зрения вариационной статистики все замеры сравниваются со средней величиной. Отклонения от средней величины суммируются, и вычисляется среднее отклонение. Мы убедились, что этот способ не подходит к оценке запасов в малых блоках рудного тела.

А что если в качестве показателя изменчивости сравнивать величину замеренного параметра не с его средним значением, а с величиной параметра, замеренной в соседних точках?

Вариограмма мощности рудного тела

Мощность является одним из самых устойчивых и плавно меняющихся параметров рудного тела. В горной выработке мы можем замерить мощность золото-рудной жилы в каком-то месте. Отступив на 10 см в сторону и произведя новый замер мощности, мы, скорее всего, получим значение, очень близкое предыдущему значению мощности. В далеко отстоящих точках друг от друга значения мощностей жилы будут отличаться сильнее. Обозначим разницу в мощности в двух соседних точках i и $i + 1$ греческой буквой дельта; $\Delta_{i,i+1} = m_i - m_{i+1}$. Разница в мощности может оказаться положительной или отрицательной. Это неудобно при сравнении значения разницы между разными парами точек. Поэтому придется брать либо абсолютную величину разницы $\Delta_{i,i+1} = |m_i - m_{i+1}|$, либо возводить ее в квадрат $\Delta_{i,i+1}^2 = (m_i - m_{i+1})^2$. Математики пошли по второму пути.

Если замерить разницу в значениях мощности на одинаковом расстоянии между точками в разных местах рудного тела, то выяснится, что эта разность может

существенно меняться от места к месту. Значит, нам придется пользоваться какой-то усредненной величиной:

$$\gamma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_{i,i+1}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (m_i - m_{i+1})^2,$$

где n — количество точек замеров. Обратите внимание, что суммируются $n - 1$ разниц между мощностями, на единицу меньше числа точек замеров. По общему виду эта формула близка формуле расчета дисперсии. Только при расчете дисперсии отнимается значение средней мощности, а не значение мощности в соседней точке. В математике $\Delta_{i,i+1}$ называются первыми последовательными разностями.

Если увеличивать расстояние между сравниваемыми точками, то разность между мощностями, скорее всего, станет больше. **Это — ключевой момент.** В этом направлении мы и будем двигаться — изучать, как меняется разность с увеличением расстояния между точками замеров.

Представим себе, что на рис. 9.11.1 изображен разрез рудного тела, «осажденного» на горизонтальную плоскость. В серии равноотстоящих буровых скважин замерена мощность рудного тела. Посчитаем первые разности между ближайшими скважинами, отстоящими друг от друга на расстояние d :

$$\gamma_d = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_{d(i,i+1)}^2;$$

$$\gamma_{2d} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-2} \Delta_{2d(i,i+2)}^2.$$

То же самое сделаем для утроенного расстояния $3d$:

$$\gamma_{3d} = \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^{n-3} \Delta_{3d(i,i+3)}^2.$$

Аналогично поступим для нарастающих расстояний $4d, 5d$ и т. д. Примем, что $h = \{d, 2d, 3d, \dots, kd\}$,

а $N = \{(n - 1), (n - 2), (n - 3), \dots, (n - k)\}$. Тогда обобщающую формулу для меняющегося расстояния h можно записать так:

$$\gamma_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_{h(i,i+k)}^2.$$

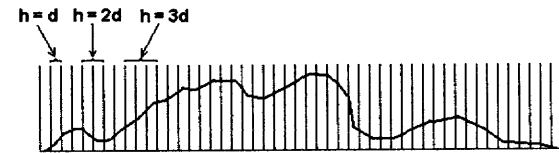


Рис. 9.11.1. Разрез «осажденного» рудного тела по данным 51 разведочной скважины.

Теперь попытаемся построить график этой функции. По оси ординат мы отложим h , а по оси абсцисс величину γ . Ось h разобьем на шаги d . Последовательно нанесем на график значения γ для расстояний $d, 2d, 3d, \dots, kd$. У нас получится график примерно такой, какой показан на рис. 9.11.2. Ломаная кривая довольно круто будет забираться вверх, а потом станет пологой, субпараллельной оси ординат — выйдет на какой-то постоянный уровень. Интересно, что это за уровень?

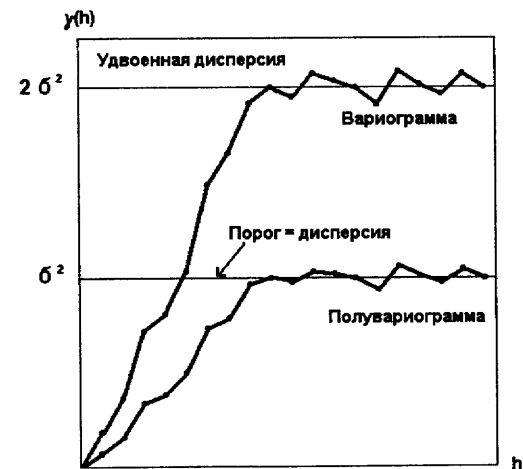


Рис. 9.11.2. Вариограмма, построенная по данным предыдущего рисунка

Если по всем n точкам замеров мощности посчитать обычную дисперсию

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2$$

и отложить ее значение на графике, то окажется, что она равна половине значения g , отвечающего постоянному уровню, на который поднимается график.

Нарисованный нами график Ж. Матерон назвал **вариограммой**. Но он резонно решил, что сравнивать вариограмму удобнее с общей дисперсией признака. Поэтому он во все приведенные выше уравнения поставил в знаменатель двойки. И стал называть этот график **полувариограммой**. Сейчас очень часто приставку «полу» опускают и называют **полувариограмму** просто **вариограммой**.

Рассмотренный пример относится к малореальному случаю производства массы замеров в точках, расположенных на равных расстояниях друг от друга. Как быть, когда расстояния разные? В этих случаях следят за тем, чтобы точка попала в определенный интервал. Берут **гопукс (tolerance)**, который обычно берется равным половине наименьшего из изученных расстояний d . Всем точкам, расстояние между которыми попадет в интервал $h \pm d / 2$, будет условно приписано точное расстояние h .

Вариограмма содержаний

Обычно для исследования выбирают самый изменчивый разведочный параметр. В рудных месторождениях таким параметром являются содержания полезных (или вредных) компонентов. Ж. Матерон и его ученики предпочитают обозначать изучаемый параметр руд (в данном случае, для определенности, содержание металла) буквой Z . Возьмем сначала случай изотропного месторождения. В таком месторождении изменчивость содержания металла одинаковая в любом направлении. Это сильно упрощает картину, т. к. можно обходиться одной координатой, точнее говоря, расстоянием между точками.

Обозначим нашу пространственную переменную — содержание металла — в точке x как $Z(x)$. Содержание металла в точке $x + h$, отстоящей от точки x на расстояние h , обозначим $Z(x + h)$. Нас, как и в случае мощности, будет интересовать разность в содержании металла в этих двух точках $[Z(x) - Z(x + h)]^2$. Естественно, что значения разности в двух соседних точках будут различаться для разных пар точек. Чтобы получить устойчивое представление о величине разности в двух точках, отстоящих друг от друга на расстояние h , нужно вычислить среднее арифметическое по всем N сравниваемым

$$\text{парам: } \gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x + h)]^2.$$

Здесь $N(h)$ обозначает количество пар с расстоянием между точками h . $\gamma(h)$ — это и есть вариограмма для случая изотропного месторождения.

Если мы теперь будем последовательно увеличивать расстояние h на значение выбранного шага, рассчитывать по этой формуле очередное среднее значение и наносить его на график, мы получим вариограмму, показывающую, как растет изменчивость содержания металла с увеличением расстояния между точками.

На рис. 9.11.3 представлено, как в изотропном случае происходит поиск пар к центральной точке x при заданном расстоянии h . От радиуса h в обе стороны откладываются радиусы $h - d / 2$ и $h + d / 2$, где d — шаг (лаг) построения вариограммы. Все точки, которые попадают в заштрихованный кольцевой интервал, считаются приблизительно находящимися на расстоянии h от центральной точки x .

В случае когда в месторождении присутствует анизотропия изменчивости изучаемого содержания металла, все заметно усложняется. В уравнении вариограммы расстояние h становится векторной величиной \vec{h} :

$$\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{2N(\vec{h})} \sum_{i=1}^{N(\vec{h})} [Z(x) - Z(x + \vec{h})]^2.$$

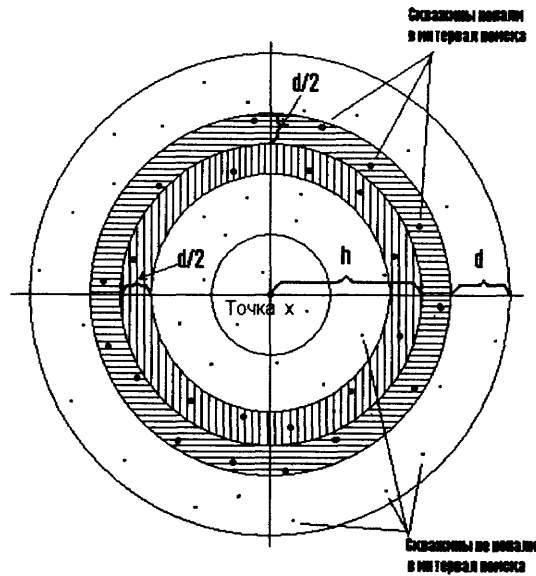


Рис. 9.11.3. Схема поискового круга при построении вариограммы в месторождении, изотропном по изменчивости

В разных направлениях в этом случае нужно будет искать точки, парные к исходной на разном расстоянии. Это настолько сложно, что геостатистики основные усилия прилагают к тому, чтобы путем разного рода преобразований координат прийти вновь к изотропному варианту. Но узнать, присутствует ли анизотропия в месторождении или отсутствует, можно только просчитав вариограммы изменчивости содержания металла по разным направлениям.

Проведем прямую линию в соответствии с выбранным направлением поиска. Пусть для определенности это будет направление на север. Вряд ли хоть одна точка попадет непосредственно на эту прямую линию. Здесь мы снова воспользуемся допуском, но теперь по углу. Будем считать, что в этом направлении требованию равенства расстояния h отвечают все точки, для которых выполняется условие $h - d/2 \leq r \leq h + d/2$, где r — расстояние между центральной и очередной

проверяемой точкой. Кроме того, направление на точку должно отвечать условию $North - 45^\circ$ и $North + 45^\circ$ или $\{315^\circ - 45^\circ\}$ (рис. 9.11.4). Значение допуска по углу, равное $\pm 45^\circ$, выбрано условно для примера. Вообще, при выборе величины допуска руководствуются правилом — чем больше точек, тем меньше берут угол. И наоборот — чем меньше точек, тем больше угол. При допуске по углу $\pm 90^\circ$ в поиске участвуют все точки. Обратите внимание на то (рис. 9.11.4), что в поиске точек участвует не только северный сектор, но и южный, т. е. направления на север и на юг равноправны.

Так как при расчете вариограммы место центральной точки x последовательно занимают все точки, то каждая пара невольно просчитывается два раза. Если сравниваемые точки индексируются буквами i и j , то мы получаем сначала пару $(Z_i - Z_j)^2$, а потом $(Z_j - Z_i)^2$. Вот поэтому-то в уравнении вариограммы и получается 2 в знаменателе.

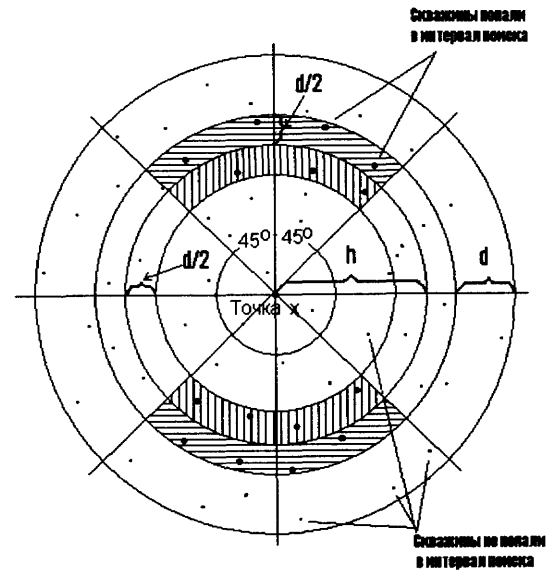


Рис. 9.11.4. Схема поискового сектора при построении вариограммы по определенному направлению (по направлению юг-север или север-юг)

9.12. Типы вариограмм

Вариограмма — это график, отражающий, как изменчивость изучаемой пространственной переменной (в виде дисперсии) меняется с увеличением расстояния. На рис. 9.12.1 представлен общий вид вариограммы. По вертикальной оси откладываются значения вариограммы, обозначаемой $\gamma(h)$. Расстояния h откладываются по горизонтальной оси. Основными параметрами вариограммы являются **порог** и **зона влияния**.

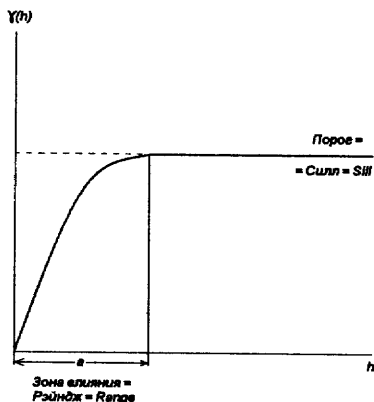


Рис. 9.12.1. Типичная пороговая вариограмма

Порог численно равен общей дисперсии изучаемой переменной Z :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2,$$

где n — количество наблюдений (проб); Z_i — значение переменной в i -м наблюдении, \bar{Z} — среднее значение переменной по n наблюдениям. Английское название порога *sill*. В некоторых переводных работах порог так и называется **силлом**. Напомним, что силлом в геологии называются трапшвые послонные интрузии, которые в обрывах сибирских рек образуют ступенеобразные выступы типа полок или порогов. **Вариограммы**, тем или иным способом **выходящие на порог**, называются **поро-**

говыми вариограммами. В противоположность этому вариограммы, график которых пересекает порог и уходит выше, называются **беспороговыми вариограммами**.

Зона влияния (область влияния) — это расстояние, на котором вариограмма достигает порога. Подразумевается, что на этом расстоянии перестает ощущаться взаимное **влияние** значений переменной (например, содержания элементов в руде) в точках замеров, разнесенных друг от друга на эту дистанцию. В англоязычной геостатистической литературе зона влияния называется **range**. В российской литературе теперь нередко зона влияния заменяется термином **рэйндж**.

Эффект самородков

В месторождениях с сильной изменчивостью содержания может проявиться свойство, которое Ж. Матерон назвал **эффектом самородков**. Это та ситуация, когда две пробы, взятые рядом друг с другом, могут довольно сильно отличаться по содержаниям полезного компонента. Так в золоторудных месторождениях в одну пробу может попасть крупный самородок, а другая проба, отобранная рядом, покажет лишь убогое содержание золота. Этот вариант отражен на рис. 9.12.2, на котором кривая вариограммы начинается не с начала координат, а с некоторого расстояния по вертикальной оси C_0 , — как общепринято обозначать эффект самородков.

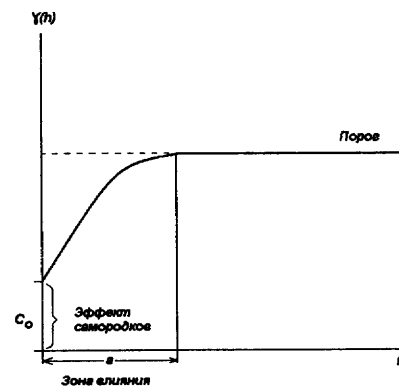


Рис. 9.12.2. Пороговая вариограмма с эффектом самородков

Чистый эффект самородков

В практике встречаются варианты, отраженные на рис. 9.12.3. Этот тип вариограмм называется **чистым эффектом самородков**. Вариограмма на всем изученном расстоянии остается на уровне порога и не проявляет тенденцию к спуску в районе начала координат.

Этот тип вариограмм практически не встречается на стадии эксплуатационной разведки. Он характерен для стадий предварительной разведки и, отчасти, — детальной. Этот график однозначно говорит о том, что месторождение не доразведано и нужно сгущать разведочную сеть. В противном случае использование геостатистических методов подсчета запасов бесполезно.

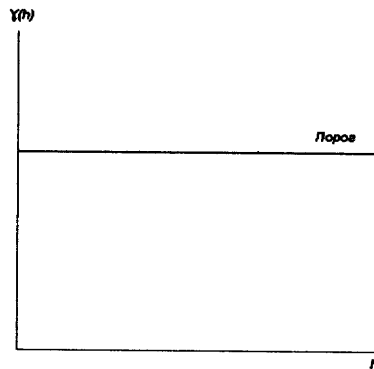


Рис. 9.12.3. Пороговая вариограмма «с чистым» эффектом самородков

Поведение графиков вблизи начала координат

Очень важно знать, как ведет себя вариограмма около нуля (рис. 9.12.4). Медленный, как говорят, **параболический** подъем графика вблизи начала координат (сплошная линия на рис. 9.12.4) характерен для переменных с постепенными, плавными изменениями. Видя такой график, геолог вправе говорить о **непрерывном оруденении**. Если кривая поднимается быстро, но выходит из нуля, говорят об оруденении **непрерывном**

в **среднеквадратическом** (пунктирная линия на рис. 9.12.4). Графики вида, изображенного на рис. 9.12.2 и тем более на рис. 9.12.3, позволяют делать вывод о **прерывистом характере оруденения** (штрихпунктирная линия на рис. 9.12.4).

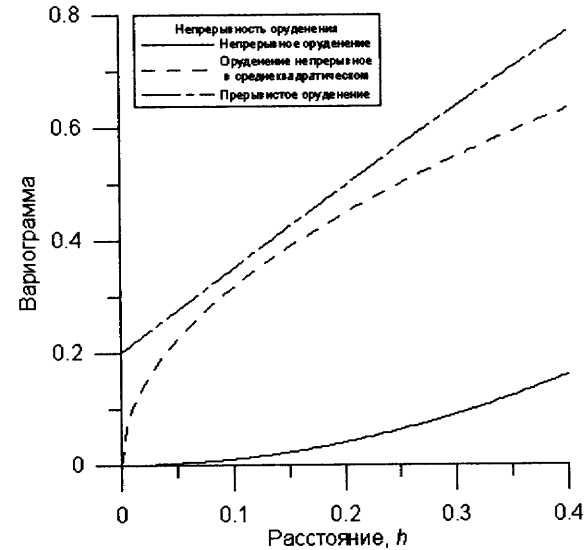


Рис. 9.12.4. Три типа поведения вариограммы вблизи от начала координат

Эффект включений

Если кривая вариограммы пересекает порог, поднимается над ним на некоторую высоту, а затем опускается вниз на уровень порога (рис. 9.12.5), говорят, что в вариограмме проявлен **эффект включений**. Первоначально так называл этот эффект и Ж. Матерон. Но сейчас в западных странах предпочитают этот эффект именовать **дырочным эффектом (hole effect)**. Такие вариограммы говорят о том, что в изучаемом рудном теле есть участок или участки (их размер можно определить непосредственно на графике) с более богатыми содержаниями полезного компонента или наоборот — с меньшими содержаниями этого элемента (отсюда, наверно,

и дырочный эффект). В любом случае вариограмма выявляет неоднородность в рудном теле. Если включение составляет одну треть и более от размера рудного тела, стоит попробовать выделить этот участок в качестве однородного геологического блока. И снова пересчитать вариограмму. В принципе, новая вариограмма должна нормально выйти на уровень порога, не пересекая его. Наличие эффекта включений говорит о том, что нарушена одна из заповедей геостатистики — проводить геостатистические исследования нужно только в однородных (хотя бы в геологическом смысле) геологических блоках. Наличие включений говорит о том, что геолог чего-то не доглядел и неправильно выделил однородные геологические блоки.

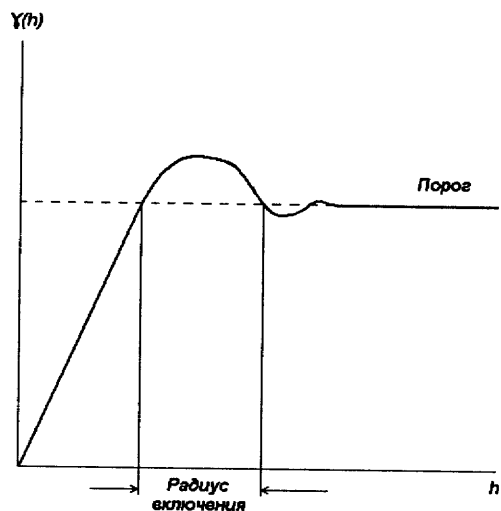


Рис. 9.12.5. Вариограмма с эффектом включений (с дырочным эффектом)

Квазипериодические вариограммы

Бывает, что вариограмма несколько раз оказывается то выше, то ниже порога (рис. 9.12.6). С расстоянием амплитуда колебаний снижается, и вариограмма выходит на порог, если так можно выразиться, с двух

сторон. Некоторые геостатистики называют это явление **волновым эффектом (wave effect)**, другие — предпочитают называть это дырочным эффектом, считая, что эта структура является своеобразным эффектом включений, затухающим на больших расстояниях. Но чаще всего волновой эффект получается на вариограммах, построенных, как говорят, по стволу скважины, пробуренной перпендикулярно слоистости в осадочных рудах (железных, марганцевых, вулканогенно-осадочных колчеданных). В этом направлении в осадочных рудах естественным образом чередуются богатые и бедные слои. Это ритмичное чередование и находит свое отражение в волновой структуре вариограмм.

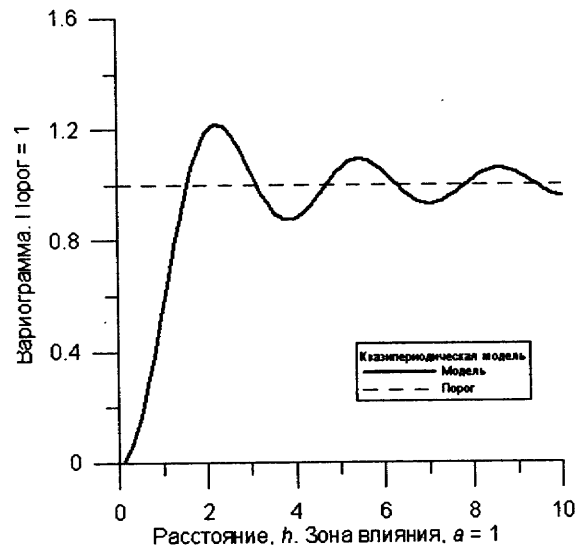


Рис. 9.12.6. Вариограмма с волновым эффектом (квазипериодическая вариограмма)

Беспороговые вариограммы

На беспороговых вариограммах кривая спокойно пересекает уровень порога и продолжает увеличивать свое значение кверху (рис. 9.14.4 — 9.14.5). Такие вариограммы получаются в тех случаях, когда в пространстве сильно проявлена закономерность в изменении

значений изучаемой переменной, Например, перед нами стоит задача оценить объем вскрыши над угольным пластом, который очень полого погружается в определенном направлении. Если мы построим вариограмму глубины кровли угольного пласта, она обязательно получится безпороговой. По этому признаку мы однозначно определяем, что нужно рассчитывать тренд или дрейфт (закономерную составляющую) и стремиться этот тренд удалить. Тренд-анализ — это особая статистическая процедура (множественная регрессия на географические координаты), разъяснение которой не входит в содержание нашего учебника.

9.13. Анизотропия

Основным вопросом, который нас интересует, является изменчивость в недрах изучаемого разведочно-го параметра. Для определенности будем говорить об изменчивости содержания полезных компонентов. Есть месторождения, в которых содержания меняются примерно одинаково по разным направлениям. Такие месторождения являются *изотропными*. В геостатистике разработаны методы подсчета запасов только для изотропных месторождений. А если месторождение анизотропное? Что тогда делать?

Прежде чем отвечать на этот вопрос, нужно выяснить, проявлена ли анизотропия в месторождении и к какому типу она относится? Допустим, что мы изучаем линзообразное рудное тело с соотношением мощности, ширины и длины 1:40:160. Из опыта мы знаем, что наибольшая изменчивость в рудном теле обычно наблюдается по его мощности. Изменчивость по ширине рудного тела должна быть больше изменчивости по его длине. Если мы построим вариограммы в направлении мощности, ширины и длины, то мы можем получить картину, показанную на рис. 9.13.1.

Все три вариограммы имеют один уровень порога. Так что общая изменчивость, выраженная в общей дисперсии, одинакова по всем направлениям. Но у них разные зоны влияния. Меньше всех зона влияния по мощности — a_1 . Зона влияния по ширине рудного тела имеет

средний размер — a_2 . Зона влияния по длине рудного тела самая большая — a_3 . Значит, общая изменчивость по всем трем направлениям одинакова. Только амплитуды изменчивости разные. Такая анизотропия называется *геометрической* или *аффинной анизотропией*. Аффинной она называется потому, что путем простых *аффинных* преобразований координат анизотропное месторождение превращается в изотропное, к которому можно применять все геостатистические процедуры.

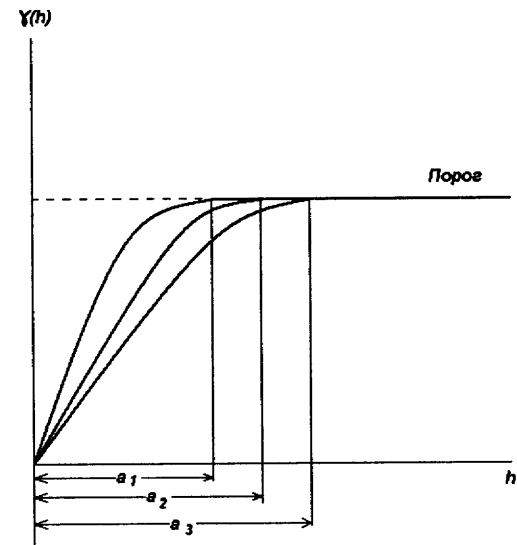


Рис. 9.13.1. Вариограммы с геометрической (аффинной) анизотропией

Высокую изменчивость по мощности рудного тела устраняют одним из двух способов.

1-й способ — если это возможно, рудное тело по мощности делят на 2–3 самостоятельных рудных тела, которые будут добываться самостоятельно. Так на барит-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая отдельно добывают полиметаллические и баритовые руды. В разделенных рудных телах изменчивость значительно снижается.

2-й способ (более часто используемый) — рудное тело обрабатывается на полную мощность, руда смешивается и в усредненном виде поступает на обогаще-

ние. В этом случае следят за изменчивостью средних содержаний по скважинам в направлениях по длине и ширине рудного тела.

В результате из трехмерной задача становится двухмерной. Не исключено, что изменчивость средних содержаний по разным направлениям окажется примерно одинаковой, т. е. с известной долей уверенности можно будет считать рудное тело изотропным. В этом случае относительное расстояние h между точками 1 и 2 рассчитывается по следующему уравнению:

$$h = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{a}$$

где $\Delta x = x_1 - x_2$; $\Delta y = y_1 - y_2$; a — зона влияния (для сферических и квадратических функций).

Если же анизотропия изменчивости будет очевидной, считать относительное расстояние, разделяющее точки, придется по следующему матричному уравнению:

$$h = \sqrt{[\Delta x \ \Delta y] \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (1/a)^2 & 0 \\ 0 & (\rho/a)^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}}$$

где $[\Delta x \ \Delta y]$ — разделяющий вектор в координатах карты; θ — угол анизотропии; ρ — отношение (коэффициент) анизотропии; $\rho = a_1 / a_2$; a_1 — зона влияния по одному направлению; a_2 — зона влияния по другому направлению, перпендикулярному первому.

Анизотропия изображается в виде эллипса. Короткая ось эллипса соответствует направлению наибольшей изменчивости изучаемого признака, а длинная ось — наименьшей изменчивости. Угол анизотропии θ отсчитывается от положительного направления координатной оси x от востока против часовой стрелки до направления короткой оси эллипса, т. е. совсем не так, как это делается в геологии и географии.

Это и есть аффинное преобразование координат для перехода к изотропной модели в случае проявления геометрической анизотропии. Но дело в том, что кроме аффинной анизотропии может быть выявлена **зональная** или **страфикационная анизотропия**. В этом случае вариограммы, построенные для разных направлений, выходят на пороги разного уровня, как это показано на рис. 9.13.2. **Зональной** этот тип анизотропии называется потому, что он характерен для месторождений с ярко проявленной зональностью в распределении содержаний основных компонентов. Например, в ликвационных медно-никелевых месторождениях Норильска содержания меди и никеля постепенно нарастают сверху вниз: от убогих вкрапленных руд до сплошных богатых донных залежей в нижней части массива.

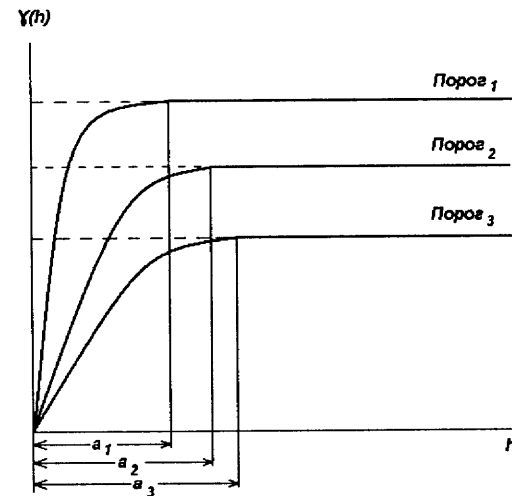


Рис. 9.13.2. Вариограммы с зональной анизотропией

Это сложный случай. Борьба с зональной анизотропией протекает значительно сложнее, чем с геометрической. Продвинутый читатель может ознакомиться с несколькими способами по фундаментальной монографии А. Журнеля и Ч. Хуйбрехта (1978). Здесь дело осложняется тем, что появление вариограмм, выходящих на разные уровни порогов, может быть связано не с зональной анизотропией, а с двумя другими явлениями.

Вариограммы, построенные по пробам разного объема

Нельзя забывать, что на любом месторождении отбираются пробы разного объема, например в подземных выработках отбираются бороздковые, задииковые и валовые пробы. Они имеют разную геометрию: линейную (бороздковые); плоскостную (задииковые); объемную (валовые). Кроме того, эти пробы имеют разный вес, отличающийся каждый на порядок друг от друга — килограммы, центнеры и тонны.

Если построить по каждому типу проб вариограммы, то они выйдут на резко отличающиеся друг от друга пороги (рис. 9.13.3). Ясно, что многотонные валовые пробы должны иметь существенно меньшие дисперсии, чем килограммовые борозды.

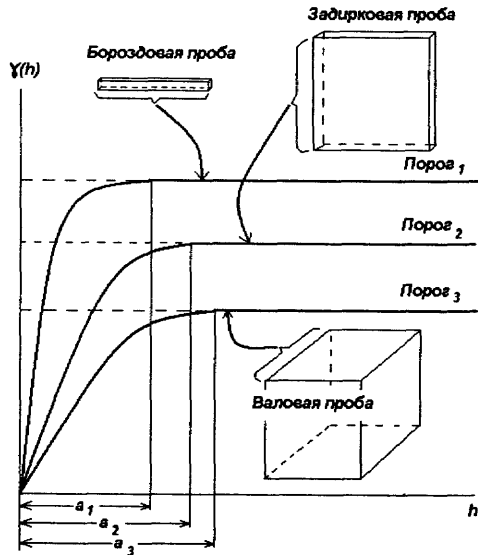


Рис. 9.13.3. Вариограммы, построенные по пробам разного типа

Именно поэтому в геостатистике существует одно из важнейших требований — вариограммы можно строить только **по пробам одного типа**, или, как говорят, **основания**. В английском языке используется термин *support*. Бороздковая проба имеет основание (сече-

ние в поперечном срезе) 10–30 см². У задииковых проб основание часто доходит до 10 000 см². А валовые пробы нередко имеют основание в виде полного сечения горной выработки около 100 000 см².

Эффект пропорциональности

Похожая по виду картина выхода вариограмм на разный уровень может объясняться еще одним феноменом — **эффектом пропорциональности**. Оказывается, существуют месторождения, в которых содержания полезного компонента связаны с дисперсией. На рис. 9.13.4 на точечном графике показана такая зависимость. На рисунке для примера показана **прямая** зависимость, но несколько раз описывался и **обратный** эффект пропорциональности, когда дисперсия снижается по мере роста содержаний.

Выявление эффекта пропорциональности проводят следующим образом. Изучаемая совокупность проб разбивается на интервалы. Например, выборка разбивается на группы в зависимости от содержания Cu от 0 до 0,5 %, от 0,5 до 1 %, от 1 до 1,5 % и т. д. Для каждого интервала вычисляются среднее содержание меди и ее дисперсия. Соответствующая точка наносится на график (рис. 9.13.4). Облако точек должно подсказать, есть ли зависимость или ее нет. В нашем примере она выглядит очевидной.

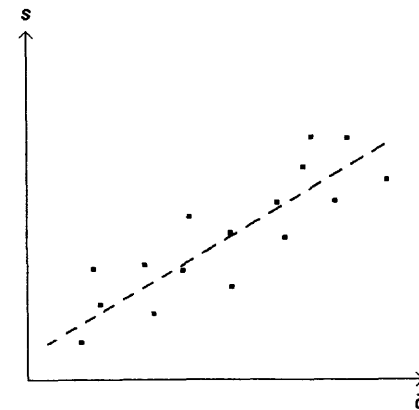


Рис. 9.13.4. Зависимость дисперсий от средних содержаний

В этом случае вместо обычной вариограммы, в которой по вертикальной оси наносится дисперсия, строится **относительная вариограмма**. В ней вместо дисперсии наносится своеобразный коэффициент вариации — дисперсия, деленная на среднее содержание металла в данном интервале (рис. 9.13.5). В литературе приводятся примеры, когда построение относительных вариограмм оканчивалось успешно. В таком относительном виде вариограммы для разных направлений выходили на одинаковое значение порога.

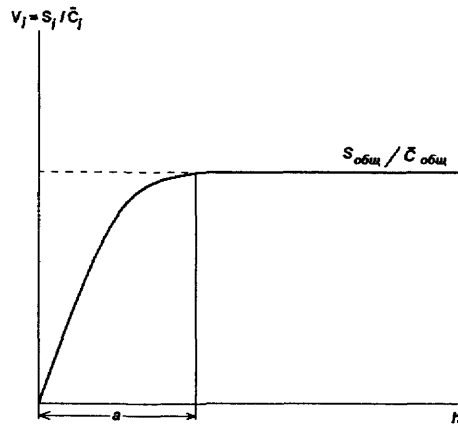


Рис. 9.13.5. Пропорциональная вариограмма

9.14. Модельные функции вариограмм

Вариограмма, вычисленная и построенная указанным выше способом, называется **экспериментальной**. Для нее характерна сильная изломанность графика (рис. 9.14.1). Естественно желание заменить эту ломаную кривую какой-нибудь плавно, регулярно изменяющейся линией. Опытным путем геостатистики установили, что экспериментальные вариограммы могут быть **подогнаны** несколькими классами функций. Они называются **модельными функциями вариограмм** или просто **моделями вариограмм**. Модели могут быть **пороговыми** или **беспороговыми**.

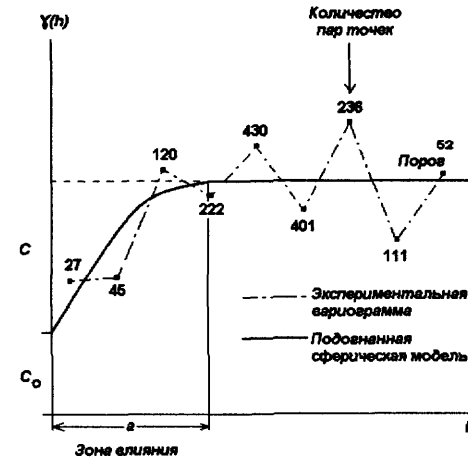


Рис. 9.14.1. Сглаживание (погонка) экспериментальной вариограммы модельной функцией

Пороговые модели

Порог вариограммы равен дисперсии изучаемого параметра по всему рудному телу или по его большей части (по геологическому блоку). Он может обозначаться по-разному: либо $\sigma_{общ}^2$, либо $\sigma_{ор}^2$, либо γ_{∞} . Есть математические функции, которые тем или иным образом выходят на уровень порога — они называются **пороговыми моделями вариограмм**.

Модель чистого эффекта самородков (рис. 9.12.3):

$$\gamma(h) = C_0 = \gamma_{\infty}$$

В этой модели вариограмма постоянна на всем протяжении изучаемого рудного тела. Отдельно эта модель не применяется, так как отражает чисто случайный тип вариограммы, но очень часто используется в комбинациях с другими моделями.

Сферическая модель (сплошная линия на рис. 9.14.2):

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) + C_0, & h < a; \\ C + C_0, & h \geq a; \\ 0, & h = 0. \end{cases}$$

Чаще всего употребляемая модель вариограммы. Модель имеет два параметра: α — радиус (интервал, зону) взаимовлияния проб (точек замеров) и порог — $\gamma(\infty) = C + C_0$, равный общей дисперсии признака. Возрастая, функция выходит на порог на расстоянии $h = a$. На рис. 9.14.3 и на всех других рисунках пороговых функций в этом разделе для упрощения принято, что порог $a = 1$. Касательная к функции, проведенная из начала координат, пересекает линию порога на расстоянии

$h = \frac{3}{2}a$. Математически эта функция описывает левый верхний квадрант эллипса.

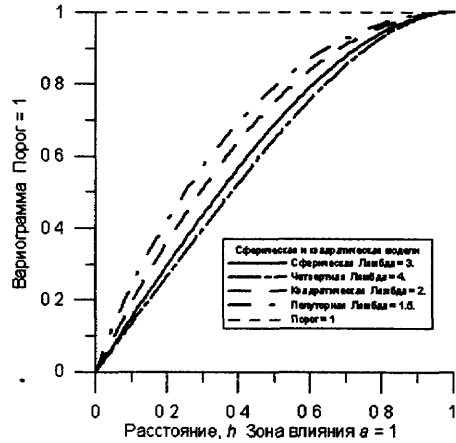


Рис. 9.14.2. Сферическая и квадратическая модельные функции

Квадратическая модель (пунктирная линия на рис. 9.14.2):

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left(\frac{2h}{a} - \frac{h^2}{a^2} \right) + C_0, & h < a; \\ C + C_0, & h \geq a; \\ 0, & h = 0. \end{cases}$$

Эта функция очень похожа на сферическую модель, но вблизи от нуля возрастает более круто. Если показатели степени в этих двух моделях сделать третьим параметром λ , то основную часть функций можно выразить так:

$$C \left(\frac{\lambda h}{(\lambda-1)a} - \frac{h^\lambda}{(\lambda-1)a^\lambda} \right).$$

Проверяем:

$\lambda = 3$, $C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right)$ — это сферическая модель; $\lambda = 2$,

$C \left(\frac{2h}{a} - \frac{h^2}{a^2} \right)$ — это квадратическая модель. Квад-

ратическая функция с математической точки зрения представляет собой левый верхний квадрант окружности.

На самом деле степень λ не обязательно должна быть целочисленной. Например, лямбда может быть равна $\lambda = 1,5$. Эта функция (штрихпунктирная линия на рис. 9.14.2) восходит к порогу заметно круче, чем сферическая и квадратическая функции. Нужно помнить, что должно соблюдаться условие $\lambda > 1$. Лямбда может быть больше 3. На рис. 9.14.2 показана функция, названная четвертной, со степенью $\lambda = 4$. При больших степенях функция вырождается в прямую линию.

Таким образом, сферическая и квадратическая функции входят в одно семейство сложных степенных (ограниченных сверху) функций, причем степень $\lambda > 1$.

Экспоненциальная модель (сплошная линия на рис. 9.14.3):

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-|h|/a}).$$

Эта модель по форме кривой похожа на сферическую, но вблизи от начала координат она восходит сначала более круто, чем сферическая, а затем наоборот — имеет более пологий подъем и выходит на порог только условно, достигая его на расстоянии $h = 3a$. Считается, что касательная к функции, проведенная от начала координат, пересекает порог при $h = a$.

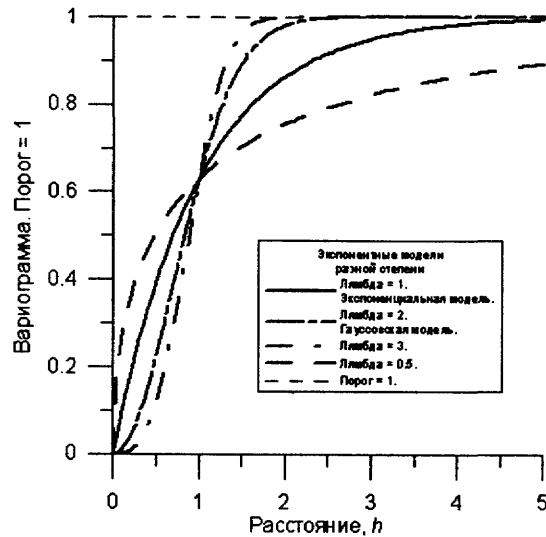


Рис. 9.14.3. Семейство экспоненциальных модельных функций, в том числе и гауссовская

Гауссовская модель (одна из штрихпунктирных линий на рис. 9.14.3):

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h^2/a^2}).$$

По виду уравнения гауссовская модель, вроде бы, близка к экспоненциальной, но она в начале координат растет очень медленно, отражая тем самым непрерывность оруденения. На уровень порога функция выходит не на значении радиуса a , а асимптотически. Гауссовская модель используется для описания пространственного поведения непрерывных признаков типа мощности в простых по форме рудных телах.

Похожесть экспоненциальной и гауссовской моделей очевидна. Стоит ввести третий параметр — степень λ , и можно получить общее уравнение этих функций:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-|h|^\lambda/a^\lambda}).$$

При $\lambda = 1$ мы имеем экспоненциальную модельную функцию, а при $\lambda = 2$ — гауссовскую. Но не обязательно, чтобы степень была целочисленной. Главное, чтобы она была больше нуля: $\lambda > 0$.

В предыдущем случае мы имели семейство сферических и квадратических функций. Здесь же мы имеем семейство экспонентных функций, закрывающих широкий интервал моделей для описания изменчивости непрерывного оруденения и оруденения непрерывного в среднеквадратическом.

Квазипериодические модели. При наличии квазипериодического эффекта можно использовать теоретические модели трех типов: модель затухающего синуса, экспоненциально-косинусную модель, смешанную модель Паддингтона. Здесь мы рассмотрим только первую из названных моделей.

Модель затухающего синуса (рис. 9.12.6):

$$\gamma(h) = C \left(1 - \frac{\sin wh}{wh} \right),$$

где $wh = 1,4\pi / H$ — частотная характеристика периодической компоненты, а H — величина полупериода синусной волны.

Эта модель эффекта включений хорошо подходит для описания ритмичного переслаивания руд разного состава или для описания рудных тел с гнездовым распределением минерализации. Порог в этой модели имеет иной смысл, чем в других моделях, так как график вариограммы оказывается то ниже порога, то выше него. Она приближается к нему с двух сторон.

Беспороговые модели

Нередко вычисленные и построенные вариограммы преодолевают порог и уходят выше него. Для описания таких вариограмм приходится обращаться к функциям, которые обобщенно названы **беспороговыми**.

Линейная модель (сплошная линия на рис. 9.14.4):

$$\gamma(h) = \begin{cases} Bh + C_0, & h > 0; \\ 0, & h = 0, \end{cases}$$

где B — угловой коэффициент наклона прямой линии. Самая простая функция довольно удовлетворительно описывает многие топографические поверхности.

Степенная функция (штриховые и штрихпунктирные линии на рис. 9.14.4):

$$\gamma(h) = \begin{cases} Bh^\lambda + C_0, & h > 0; \\ 0, & h = 0, \end{cases}$$

где B — положительный коэффициент, равный среднему квадрату приращений изучаемого параметра за единицу расстояния, а λ — показатель степени, который должен быть $0 \leq \lambda \leq 2$. Подходит для описания переменных с разным соотношением закономерной и хаотической составляющей.

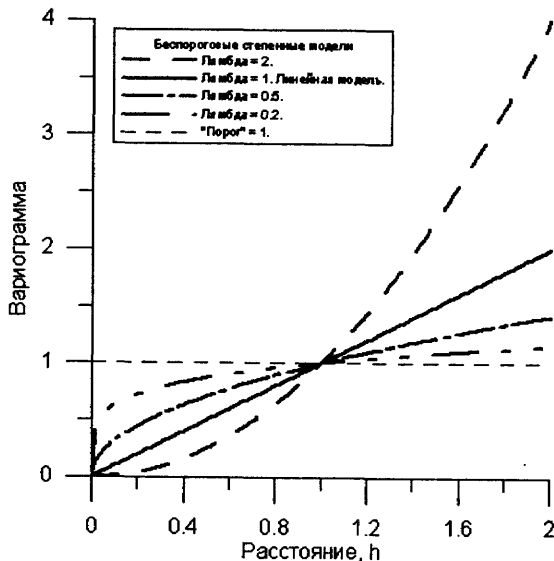


Рис. 9.14.4. Степенные модельные функции с разной степенью

Логарифмическая модель (рис. 9.14.5):

$$\gamma(h) = B \ln h,$$

где B — угловой коэффициент. Эта модель широко использовалась при ручном счете задач. Формула дает бессмысленные (отрицательные) результаты при $h < 1$, поэтому в компьютерных вариантах подсчета запасов не используется.

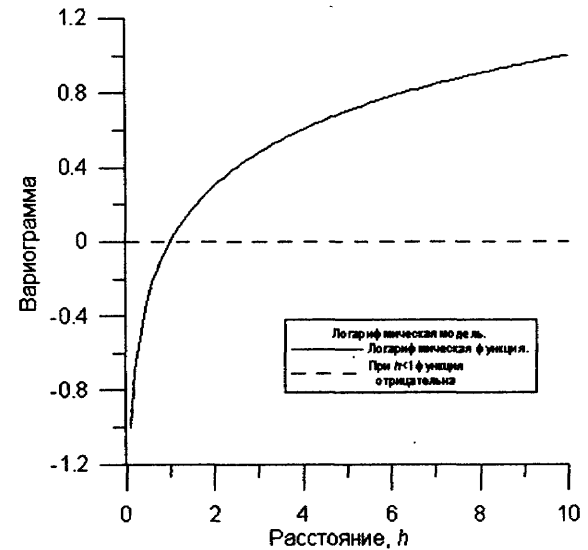


Рис. 9.14.5. Логарифмическая модельная функция (при расстояниях меньше 1 имеет отрицательные значения)

Модели вариограмм с вложенными структурами

Кроме рассмотренных модельных функций существуют и другие: рациональная квадратическая модель, кубическая модель, пентасферическая модель. Может оказаться, что не все они реализованы в той программе трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых, которая будет в распоряжении геолога. Приобретая навыки подгонки разных моделей к экспериментальным вариограммам, можно попробовать и эти, более редко используемые варианты моделей.

Но почти наверняка настанет момент, когда окажется, что ни одна из моделей не позволяет произвести удовлетворительную подгонку модели к экспериментальной вариограмме. Тогда придет время осваивать технологию так называемых **вложенных структур**. Раздел о вложенных структурах затруднительно доступно изложить в рамках вводного, ознакомительного курса геостатистики. Освоение этого раздела — следующий шаг в самостоятельном, углубленном изучении геостатистики.

9.15. Структурный анализ

В математической статистике то, что мы здесь называем *вариограммой*, называется *структурной функцией*. Всестороннее исследование вариограмм, построенных на разных основаниях и в разных направлениях, А. Журнель и Ч. Хуйбрехт (1979) называли *структурным анализом*. Сейчас в связи с полной компьютеризацией геостатистических методов подсчета запасов очень часто такой анализ называют *вариографией* месторождения. Но мы здесь будем по старинке говорить о структурном анализе.

Чтобы структурный анализ был многосторонним, необходимо построить и исследовать вариограммы всех основных разведочных параметров изучаемого рудного тела: мощности рудного тела, мощности вскрыши, содержаний всех основных полезных (и вредных) ископаемых, содержаний попутных компонентов, объемной массы руды, пористости, влажности и других показателей. При этом нужно внимательно следить, чтобы соблюдались основные требования к проведению геостатистических исследований.

Во-первых, вариограммы должны строиться в *однородном блоке рудного тела, однородном* хотя бы в геологическом смысле.

Во-вторых, вариограммы должны строиться на *одном основании* (пробы должны быть одинаково ориентированы в пространстве, должны иметь одинаковый объем, должны иметь одинаковую длину, должны быть проанализированы в одной лаборатории по одной и той же методике, желательно за небольшой промежуток времени).

При наличии достаточного количества проб, заметно отличающихся по объему, желательно построить вариограммы отдельно для каждого типа проб и сравнить их друг с другом (рис. 9.13.3). Это позволяет наглядно охарактеризовать феномен *регуляризации* пространственной изменчивости изучаемой переменной в пробах большого объема.

Если длина исходных проб сильно варьирует, нужно рассчитать *композитные* пробы, чтобы исключить влияние длины проб на вариограмму. При большой мощ-

ности рудного тела полезно построить вариограммы по композитам разной длины. Построив эти вариограммы на одном графике, можно наглядно убедиться, что с увеличением длины пробы происходит регуляризация вариограмм — заметно снижается значение порога.

Вариограммы должны строиться в разных направлениях, с тем чтобы совершенно определенно можно было ответить на вопрос о наличии или отсутствии анизотропии в пространственной изменчивости изучаемого признака.

Если анизотропия присутствует, нужно определить ее тип. Если это аффинная анизотропия, нужно произвести преобразования всех координат. А потом снова рассчитать вариограмму в условиях уже изотропной пространственной изменчивости. Можно применить способ, изложенный выше в разделе «Анизотропия».

Если будет выявлена картина, похожая на зональную анизотропию с разными порогами по разным направлениям, то сначала нужно проверить, не является ли это отзвуком эффекта пропорциональности. Если же это не связано с эффектом пропорциональности, то единственное, что здесь можно рекомендовать, — это поискать в литературе похожий пример и попытаться воспроизвести на своих данных способы, предложенные там.

В случае если получается беспороговая вариограмма с трендом, на первых порах рекомендуется пригласить на помощь более опытного геостатистика, чтобы он помог *снять тренд*.

В конце концов к окончательно построенной вариограмме требуется *подогнать* модельную функцию. Общая рекомендация сводится к тому, чтобы выбирать наиболее простые модели, избегать многоструктурные модели, не усердствовать с уменьшением эффекта самородков.

Тщательно документируйте (записывайте в журнал) все параметры подобранных моделей. В случае когда две или три модельные функции *на глаз* будут почти одинаковыми, отложите решение вопроса о *лучшей* модели до стадии *перекрестной проверки* (см. далее). Обязательно распечатывайте на принтере все построенные вариограммы.

Если месторождение является полиметаллическим, вариограммы для каждого металла строите отдельно. Но желательно, чтобы подгоночные модели у всех металлов были одного типа.

Не жалейте времени на то, чтобы улучшить вид вариограммы, меняя величину шага (лага) построения, допуски по расстояниям и по углам. Меняя эти величины, часто удается существенно повысить качество подгонки модельных функций, а значит, и повысить доверие к произведенным подсчетам запасов руд и металлов.

9.16. Задачи интерполяции, гридинг

Задачи интерполяции могут быть одномерные (данные по профилю), двумерные (карты) и трехмерные (в объеме). Все эти варианты встречаются в практике геологической разведки месторождений. Но, пожалуй, чаще всего геолог сталкивается с задачами интерполяции на плоскости, т. е. с двумерной интерполяцией. Рассмотрим упрощенный пример.

Пусть в точках с известными координатами с дневной поверхности пробурено 6 вертикальных буровых скважин. Известны абсолютные отметки устьев скважин. Точки на площади разбросаны неравномерно (рис. 9.16.1). Нам нужно построить топографическую карту дневной поверхности участка в изолиниях.

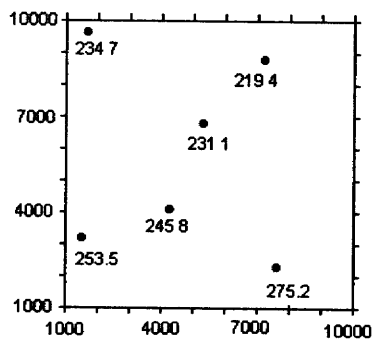


Рис. 9.16.1. Шесть неравномерно расположенных точек с высотными отметками

Один из самых распространенных способов построения карт в изолиниях заключается в следующем. Интересующая нас площадь разбивается на правильные прямоугольники или квадраты (рис. 9.16.2). Образуется правильная, регулярная сеть, которая издавна называется **гридом** (сетью). Мы (каким-то образом) определяем значения высотных отметок в узлах грида. Количество узлов — по вертикали 10 и по горизонтали 10. Всего мы должны определить высотные отметки в 100 узлах и записать их в матрицу (она называется **грид-матрица**). По этой уже **регулярной** сети точек с помощью стандартных графических программ мы получаем топографическую карту в изолиниях.

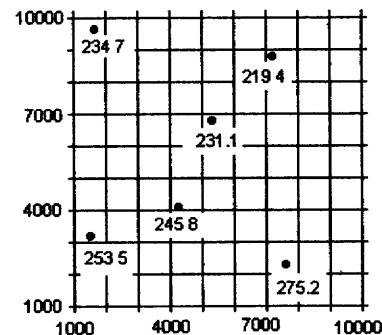


Рис. 9.16.2. Гридинг превращает 6 неравномерно размещенных точек в 100 равномерно расположенных точек в узлах регулярной сети. Значения высотных отметок рассчитываются методом интерполяции

Тем самым мы совершаем переход от 6 **нерегулярно** расположенных точек к 100 **регулярно** расположенным точкам в узлах **грида**. Определение значения высотной отметки в каждом из узлов грида осуществляется выбранным методом **интерполяции**. А вся эта процедура перехода от нерегулярной разведочной сети к регулярной с попутным определением значений переменной в каждом узле сети называется **гридингом**.

9.17. Методы интерполяции

Методов интерполяции известно больше 20. Перечислим здесь наиболее часто употребляемые, но не раскрывая их сути (на что в данном учебнике нет места):

- скользящее среднее;
- обратное расстояние в степени;
- минимальная кривизна;
- реальный сосед;
- ближайший сосед;
- полиномиальная регрессия;
- локальная полиномиальная регрессия;
- радиальные базисные функции;
- модифицированный метод Шеппарда;
- триангуляция с линейной интерполяцией;
- кригинг.

Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и свои недостатки. Прочувствовать их можно только опытным путем. Из них **кригинг** — метод интерполяции с наименьшей дисперсией — был введен в обиход геологов-разведчиков Ж. Матероном. Этот способ получил свое название в честь учителя Ж. Матерона — южноафриканского геолога Дэни Криге. Кригинг, конечно, — один из лучших способов интерполяции. Но прежде, чем его применять, геолог должен проделать большую предварительную работу, в том числе и строя многочисленные карты в изолиниях. Поэтому волей-неволей геологу придется пользоваться и другими методами интерполяции.

В большинстве методов интерполяции, за исключением методов наименьшей кривизны и полиномиальной регрессии, в которых используются все точки, сначала задается диаметр поискового круга (или эллипса). Все точки, попавшие в поисковый круг, используются для расчета взвешенного среднего, которое будет приписано очередному узлу грида. Веса, с которыми будут учитываться исходные точки, в той или иной мере зависят от расстояния от узла до этой точки. Разные методы интерполяции — это разные способы взвешивания исходных данных в зависимости от расстояния.

Кригинг

В кригинге, как методе интерполяции, взвешивание производится, пожалуй, сложнее, чем во всех других методах. Рис. 9.17.1 частично иллюстрирует этот процесс.

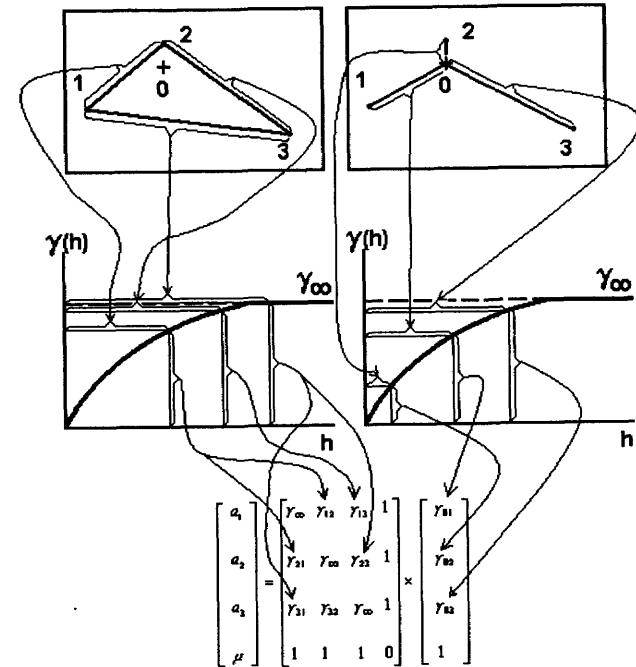


Рис. 9.17.1. Схема формирования матричной системы линейных уравнений с помощью расстояний между точками и соответствующих им значений модельной вариограммы

Допустим, что в наш поисковый круг попали 3 точки 1, 2 и 3. В левом верхнем прямоугольнике показано их взаимное расположение и их положение вокруг оцениваемой точки 0 (она помечена крестом). В левом верхнем прямоугольнике точки 1, 2 и 3 соединены между собой. В правом верхнем прямоугольнике показаны те же точки, но они соединены с оцениваемой точкой 0. В средней части рисунка два раза повторена сферическая модельная функция, подогнанная под экспериментальную вариограмму.

В нижней части рисунка приведено линейное матричное уравнение, в левой части которого (в колонке) стоят веса точек a_1, a_2 и a_3 . Их и нужно определить. Для этого нужно заполнить матрицу $\gamma_{ij} \{i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3\}$ и колонку $\gamma_{0i} \{i = 1, 2, 3\}$. Это делается так.

Берем расстояние от точки 1 до точки 2 и откладываем его на левой вариограмме (следите за стрелками). Значение модельной функции, соответствующее расстоянию между точками 1 и 2, заносим в два места матрицы, обозначенные γ_{12} и γ_{21} . Матрица симметричная, и эти члены матрицы равны друг другу. Точно так же поступаем со следующей парой точек. По расстоянию между точками 1 и 3 находим значение вариограммы и вписываем его на места γ_{13} и γ_{31} . Аналогично находим и вписываем на соответствующие места значения γ_{23} и γ_{32} . По диагонали этой матрицы стоят значения γ_{∞} . Они равны общей дисперсии изучаемой переменной $\gamma_{\infty} = \sigma^2$.

Теперь нам остается заполнить правую колонку матричного уравнения. Сюда помещаются значения модельной вариограммы γ_{01} , γ_{02} , γ_{03} , соответствующие расстояниям между центральной точкой O и точками 1, 2 и 3. Теперь матричное уравнение решается одним из многих способов нахождения коэффициентов системы линейных уравнений. При решении способом, выбранным Ж. Матероном, появляется небольшое по величине число μ — множитель Лагранжа. Чем множитель меньше, тем лучше решена система линейных уравнений.

Такова схема формирования системы уравнений для нахождения коэффициентов кригинга a_i . Сама кригинговая оценка равна:

$$\bar{Z}_k = \sum_{i=1}^n a_i Z_i$$

Здесь \bar{Z}_k — кригинговая интерполяционная оценка изучаемой переменной, а Z_i — значения переменной в n точках, попавших в круг поиска. В нашем примере в поисковый круг попали всего 3 точки. Обычно же, на практике, в поисковый круг попадает несколько десятков окружающих проб. Соответственно и матричное уравнение расширяется до десятков строк и столбцов.

Считается, что кригинг — это интерполяционная процедура, дающая оценки с наименьшей дисперсией. Дисперсия кригинга равна:

$$\sigma_k^2 = \sigma_{\infty}^2 - \sum_{i=1}^n a_i \sigma_{0i} - \mu$$

где σ_{∞}^2 — порог; a_i — коэффициенты (веса) кригинга; σ_{0i} — ковариация между точкой оценивания и i -й точкой; μ — множитель Лагранжа.

Чем меньше дисперсия кригинга по сравнению с общей дисперсией, тем лучше качество полученной оценки.

Точечный кригинг

Существует несколько разновидностей кригинга: точечный (или ординарный кригинг); блочный кригинг (или кригинг блоков); универсальный кригинг; индикаторный кригинг; полииндикаторный кригинг; ко-кригинг. В данном учебнике дается только ознакомительный курс геостатистики. Поэтому здесь приводятся начальные сведения о наиболее важных и понятных процедурах, а именно, точечный и блочный кригинги. Остальное читатель должен будет осваивать сам по мере накопления опыта решения геостатистических задач.

Точечный, или ординарный, кригинг. Авторы советуют использовать термин **точечный**, так как он подчеркивает суть этого метода — интерполяционную оценку значения исследуемой пространственной переменной **в точке**. Альтернативное название «ординарный» толком ничего не проясняет. Английское слово **ordinary** имеет множество возможных переводов (обычный, обыкновенный, простой, заурядный, посредственный и т. п.), ничего не говорящих о сути этого способа.

А суть этого метода как раз и заключается в том, что найденное значение переменной относится к точке, имеющей вполне определенные три координаты x , y и z . Как это делается, достаточно подробно рассказано на предыдущей странице.

Перекрестная проверка

Перекрестная проверка — по-английски **cross validation** — была придумана для того, чтобы выбирать лучшие модельные функции вариограмм, если оказалось несколько альтернативных моделей. Попробуем

освоить метод перекрестной проверки на упрощенном примере.

Допустим, что при разведке пластовое рудное тело медистых песчаников было пробурено 100 скважинами по сети 100 × 100 м. Рудное тело залегает субгоризонтально. Средняя мощность рудного тела довольно выдержана. Самым изменчивым параметром рудного тела являются содержания Cu. Руда опробовалась по керну скважин. Длина проб в среднем 1 м. По каждой скважине были подсчитаны средние содержания меди. По средним содержаниям в 100 скважинах были построены вариограммы содержания меди в руде в разных направлениях. Месторождение оказалось изотропным. Можно ли узнать, насколько правильно подобрана модельная сферическая вариограмма (небольшой эффект самородков и радиус зоны влияния — около 200 м)? Да, можно. На это должна ответить **перекрестная проверка**.

Она проводится следующим образом. Для каждой скважины по схеме точечного кригинга рассчитывается содержание меди. При этом используются данные по всем скважинам, исключая ту, для которой ведется расчет. Таким образом, у нас есть 2 столбца истинных и расчетных содержаний меди (табл. 9.17.1). Их нужно всесторонне сравнить.

Таблица 9.17.1

Результаты перекрестной проверки

Номер по порядку	Содержание меди		
	истинное Z_i^u	расчетное Z_i^p	отклонение $\times_i = Z_i^u - Z_i^p$
1	5,53	5,41	+ 0,12
2	4,98	5,05	- 0,07
...
i	3,66	3,40	+ 0,26
...
99	4,82	5,13	- 0,31
100	5,12	5,01	+ 0,11

Но прежде введем условные обозначения.

Z_i^u — истинное содержание меди в i -й скважине;
 Z_i^p — расчетное содержание меди в i -й скважине;

n — количество скважин (в нашем примере $n = 100$);

$$\bar{Z}^u = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i^u}{n} \text{ — среднее истинное содержание меди;}$$

$$\bar{Z}^p = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i^p}{n} \text{ — среднее расчетное содержание меди;}$$

$\delta_i = Z_i^u - Z_i^p$ — отклонение содержаний меди между i -м истинным содержанием и i -м расчетным содержанием с учетом знака отклонения;

$\Delta_i = |Z_i^u - Z_i^p|$ — отклонение содержаний меди между i -м истинным содержанием и i -м расчетным содержанием без учета знака отклонения;

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \text{ — средняя абсолютная систематическая}$$

погрешность;

$$\bar{\delta}_{\text{отн}} = \frac{\bar{\delta}}{\bar{Z}^u} 100\% \text{ — средняя относительная систе-}$$

матическая погрешность;

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} \text{ — средняя абсолютная случайная по-}$$

грешность;

$$\bar{\Delta}_{\text{отн}} = \frac{\bar{\Delta}}{\bar{Z}^u} 100\% \text{ — средняя относительная случай-}$$

ная погрешность;

$$K_o = \frac{\bar{\delta}}{\bar{\Delta}} \text{ — коэффициент однородности.}$$

Результаты перекрестной проверки записываются в таблицу (табл. 9.17.1). По ней рассчитываются величины $\bar{\delta}$, $\bar{\delta}_{\text{отн}}$, $\bar{\Delta}$, $\bar{\Delta}_{\text{отн}}$, K_o . В идеале величины $\bar{\delta}$ и $\bar{\delta}_{\text{отн}}$

должны быть равны нулю. Это будет означать, что кригинг не дает систематических смещений. И сумма отрицательных отклонений расчетных содержаний от истинных равна сумме положительных отклонений расчетных содержаний от истинных. В этом случае должны быть равны друг другу средние содержания, рассчитанные по истинным и по расчетным содержаниям, $\bar{Z}^u = \bar{Z}^p$. Если же $\bar{\delta} \neq 0$, нужно, чтобы величина относительной ошибки (погрешности) кригинга $\bar{\delta}_{отн}$ не превышала заранее заданной геологом величины такой ошибки, например, $\bar{\delta}_{отн} < 5\%$ от среднего содержания меди по всему месторождению.

Если же этот критерий не выполняется, это означает, что кригинг дает смещенные оценки содержаний меди. Это недопустимо. Значит, модель неправильно подогнана. Нужно проверить все параметры модельной функции: значение эффекта самородков — C_0 ; радиус зоны влияния — a ; величину порога — σ^2 . Возможно, неправильно выбран тип модели.

Случайная ошибка не столь опасна как систематическая, но и она характеризует другую сторону качества кригинговых расчетных содержаний. В принципе возможна такая ситуация. Средняя систематическая погрешность равна нулю: $\bar{\delta} = 0$, т. е. сумма положительных отклонений равна сумме отрицательных отклонений. Но сами отклонения могут быть большими. И здесь тоже нужно задаваться критерием того, чтобы среднее относительное отклонение не превышало определенного значения. Существует критерий, который совместно проверяет соотношение систематической и случайной погрешностей, это — коэффициент однородности. Он

должен быть меньше $K_0 \leq \frac{2,45}{\sqrt{n}}$. Величина 2,45 отвечает

значению точки стандартного нормального распределения для доверительной вероятности 99 % или, что то же самое, для 1%-ного уровня значимости. Вообще, полезно построить два графика — гистограмму отклонений и точечную диаграмму зависимости расчетных и истинных содержаний.

Гистограмма отклонений должна быть: 1) симметричной; 2) одновершинной, островершинной; 3) пик гистограммы должен приходиться на 0; 4) отдельные большие отклонения (выбросы) должны отсутствовать.

На точечной диаграмме «расчетные содержания — истинные содержания» точки должны ложиться вблизи диагонали — линии, идущей под 45°. Желательно рассчитать коэффициент корреляции между расчетными и истинными значениями. Он должен быть не только значимым с высокой доверительной вероятностью (99 % и выше), но и по своей величине должен быть никак не ниже 0,90.

Эти же критерии могут быть применены при выборе между альтернативными модельными функциями вариограмм. В общем случае из двух сравниваемых моделей лучше та, у которой меньше и случайные, и систематические погрешности, а также больше коэффициент корреляции.

Кригинг блоков

Точечный кригинг находит оценку пространственной переменной **в точке**. А у нас рудное тело разбито на тысячи блоков. Блок — объемная пространственная фигура, в общем случае имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Как с помощью кригинга оценить, например, содержание металла в целом по блоку?

Здесь геостатистики прибегают к маленькой хитрости. Они просчитывают содержание металла 9 раз — в 8 угловых точках блока и в центре блока, который они чаще всего называют **центроугом**. По этим 9 точкам рассчитывается среднее содержание:

$$\bar{Z} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 Z_i,$$

которое и рассчитывается содержанием металла в блоке. Пользуясь тем, что содержание вычисляется 9 раз, попутно рассчитывается оценка дисперсии содержания металла в блоке:

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^9 (Z_i - \bar{Z})^2$$

и среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_z^2}$$

Не нужно забывать, что для каждой точки кригинг позволяет считать не только оценку значения изучаемой пространственной переменной, но и дисперсию кригинга. Благодаря этому мы можем рассчитать среднюю дисперсию кригинговых оценок в блоке:

$$\bar{\sigma}_k^2 = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \sigma_{k_i}^2$$

и, мало того, можем рассчитать **дисперсию дисперсии**

$$\sigma_\sigma^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^9 (\sigma_{k_i}^2 - \bar{\sigma}_k^2)$$

Дисперсия дисперсии звучит непривычно, тем не менее геостатистики (Матерон, 1968; Журнель и Хуйбрехт, 1978) придают этому параметру большое значение.

На первых порах перечисленным величинам можно не уделять большое внимание, но при дальнейших углубленных геостатистических исследованиях они понадобятся. Поэтому нужно помнить, что в отчет по подсчету запасов для каждого блока «впрок» записывается следующая информация для каждого полезного компонента (металла): среднее содержание металла в блоке, среднеквадратическое отклонение кригинговых оценок содержаний от среднего содержания и дисперсия дисперсии.

Кригинговая оценка запасов

Собственно говоря, после того, как произведена оценка содержаний всех компонентов (и полезных, и вредных) в рудах, можно считать, что подсчет запасов уже произведен. Напомним, что блочные модели рудных тел бывают двух типов. В факторных блочных моделях объем всех блоков одинаков, а фактор показывает, какую долю объема блока занимает руда. Помножив объем блока на фактор и на объемный вес руды, мы получим запас руды в блоке. Помножив затем за-

пас руды на содержание металла в блоке, мы получим запас металла в блоке.

А в субблочной модели рудного тела благодаря тому, что все пустые части «больших» исходных блоков отброшены, оставшиеся субблоки оказываются на 100 % рудными. Помножив их объем на объемный вес руды и на содержание компонента, мы получим его запасы.

Все оцененные и подсчитанные параметры залежи заносятся в **громадную** таблицу. Почему громадную? Да потому, что даже в среднем по размерам месторождении получаются десятки тысяч блоков. Каждый блок — это строка в таблице. Но и столбцов в этой таблице тоже набирается несколько десятков.

В качестве примера рассмотрим таблицу подсчета запасов по Рубцовскому колчеданно-полиметаллическому месторождению (Рудный Алтай). В этом месторождении 3 основных полезных компонента: Cu, Pb, Zn. Кроме того, по разработанным кондициям требовалось подсчитать запасы следующих ценных *попутных* компонентов: Au, Ag, Bi, Te, Cd, Se, Ga, S (пиритная).

Итак, в матрицу (таблицу) подсчета записывается масса сведений. Таблица подсчета запасов по Рубцовскому месторождению включает 50 колонок. Первые 11 колонок являются общими для всех полезных компонентов:

- 1 — идентификатор блока (индивидуальный номер);
- 2 — координата X центра блока;
- 3 — расстояние до западной и восточной стенки блока $\pm \Delta X$;
- 4 — координата Y центра блока;
- 5 — расстояние до южной и северной стенки блока $\pm \Delta Y$;
- 6 — координата Z центра блока;
- 7 — расстояние до дна и потолка блока $\pm \Delta Z$;
- 8 — среднее количество точек, попавших в поисковый эллипс при 9 вычислениях;
- 9 — объем блока;
- 10 — объемный вес;
- 11 — запас руды в блоке.

Дальше в таблице идут группы по 4 колонки для каждого основного полезного компонента. Для меди:

- 12 — среднее содержание Cu в блоке;
- 13 — дисперсия кригинга содержаний Cu;
- 14 — стандартное отклонение содержаний Cu в блоке;
- 15 — запас Cu в блоке.

Аналогичные группы колонок по 4 штуки следуют для Pb (колонки 16–19) и Zn (колонки 20–23). Следующая группа колонок (с 24 по 33) содержит сведения о ценных попутных компонентах, запасы которых могут быть оценены по уравнениям множественной регрессии. На каждый химический элемент выделено по 2 колонки. Например, для кадмия:

- 24 — среднее содержание Cd в блоке;
- 25 — запасы Cd в блоке.

Аналогичные сведения приводятся для Se, Ag, Bi и Te. После них идет группа колонок (с 34 по 36), содержащих сведения по ценным попутным компонентам, для которых не удалось составить уравнений регрессии. Это — Ga, Au, S_{пир.} Они оцениваются по простым средним содержаниям по всему месторождению. Поэтому им отводится по одной колонке, в которую записывается запас данного элемента в блоке.

С 37 по 49 колонки содержат сведения о разбраковке блоков. Что подразумевается под разбраковкой? У нас есть кондиции, в соответствии с которыми минимальное промышленное содержание в подсчетном блоке должно быть больше 6 % условного цинка для сульфидных и смешанных руд. Коэффициенты для перевода в условный цинк: Cu — 1,3; Pb — 1,4. Значит, нужно устроить проверку блоков на содержание условного цинка. В 37 колонке, которая условно называется «Индекс», ставится 1 (единица), если условие $Zn_{\text{условный}} > 6\%$ выполняется. Если же оказывается, что $Zn_{\text{условный}} < 6\%$, блок бракуется и в графе «Индекс» ставится 0.

Если теперь колонки, в которых размещаются запасы руды и отдельных элементов, помножить на колонку «Индекс», то запасы в блоках с индексом = 0 обнулятся. В колонках с 38 по 49 размещаются результаты перемножения колонок с запасами с колонкой «Индекс»: 38 — запасы руды; 39 — запасы Cu; 40 — запасы Pb; 41 — запасы Zn; 42 — запасы Cd; 43 — запасы Se; 44 — запасы Ag; 45 — запасы Bi; 46 — запасы

Te; 47 — запасы Au; 48 — запасы Ga; 49 — запасы S_{пир.} Если теперь сложить по каждой колонке чуть больше 20 тысяч блоков (столько блоков получилось в субблоковой модели рудного тела № 1), то мы получим запасы нужного химического элемента в месторождении.

Операция разбраковки блоков — полезная процедура. Выборочное удаление бедных блоков приводит к общему повышению качества руд.

Содержимое каждой колонки таблицы может быть визуализировано — превращено в 3D-модель, в которой каждый блок будет раскрашен в соответствующий цвет, например в соответствии с содержаниями Cu в блоке.

Но важно знать, насколько можно доверять этой картинке. Для проверки надежности рассчитанных величин можно построить блочную модель рудного тела. Каждый блок раскрашивается в соответствующий цвет в зависимости от количества точек, попавших в круг поиска при оценке параметров блока. Участки с малым количеством точек, возможно, потребуются до-разведать.

На карте дисперсий кригинга должны вызывать беспокойство те части залежи, где велика дисперсия кригинга. Нужно ее сравнить с вариограммой меди. Если дисперсия кригинга приближается по величине к пороговому значению вариограммы, то надежность этой оценки будет вызывать сомнение.

На картах стандартных отклонений содержаний нужно обращать внимание на участки с высокими значениями стандартных отклонений. В этих местах 9 кригинговых оценок в блоке, вероятно, имеют широкий разброс значений.

Карта разбракованных блоков ясно показывает местоположение участков с небогатými содержаниями и с малой мощностью рудного тела.

Очень интересная 3D-модель получается, если в качестве картируемого параметра выступает стоимость одного кубометра руды, в предположении, что из нее полностью будут извлечены все металлы. На 13 октября 2006 г. стоимость основных металлов Рубцовского месторождения на Лондонской бирже металлов составляла (\$ за 1 кг): Cu — 3,4117; Pb — 0,7230; Zn — 1,7282.

Были сделаны соответствующие пересчеты. Получилось, что лучше всего разведанный участок месторождения оказался и самым богатым. Стоимость металлов, содержащихся в 1 м³ руды, доходит здесь до 2000 долларов. На периферийных участках стоимость оказывается ниже \$ 100 (опускается до \$ 65). Вряд ли найдется кто-нибудь, кто захочет добывать эту бедную руду себе в убыток.

Геостатистический метод подсчета запасов имеет неоспоримое преимущество перед традиционными методами, что дает возможность оценить надежность полученных результатов. Он позволяет отразить в каждом блоке десятки параметров руды. В том числе можно сделать наглядными финансово-экономические показатели руды.

Список литературы

1. Александров А.Д. Борис Николаевич Делоне // Природа. 1980. № 3. С. 25 – 35.
2. Аммерал Л. Интерактивная трехмерная машинная графика. М.: Сол Систем, 1992. 318 с.
3. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л.: Недра, 1980. 360 с.
4. Котов Ю.В. Как рисует машина. М.: Наука. Гл. ред. мат. лит., 1988. 224 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 408 с.
6. Трофимов А.А. Основы горной геометрии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
7. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия, применение в проектировании и на производстве. М.: Мир, 1972. 304 с.
8. Фоли Дж., ван Дэм А. Основы интерактивной машинной графики. Ч. 1, 2. М.: Мир, 1985.
9. Journel A.G., Huijbregts Ch.J. Mining geostatistics. L.; N.-Y.; S.F.: Academic press, 1979. 600 p.

Глава 10

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОКЕАНИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД

Изложенные в данном разделе материалы основаны на результатах многолетних исследований, проводимых коллективом сотрудников Государственного научного центра НПО «Южморгеология», являющегося ведущей отечественной геолого-геофизической организацией в области изучения железомарганцевых руд океанского дна. С 1983 г. это предприятие является представителем СССР (а затем Российской Федерации) в Международном органе по морскому дну ООН, а 17 декабря 1987 г. Генеральный комитет Подготовительной комиссии МОД ООН зарегистрировал производственное объединение «Южморгеология» Мингео СССР в качестве первоначального вкладчика.

16 мая 1988 г. Советский Союз в лице НПО «Южморгеология» получил сертификат на право проведения работ на выделенном лицензионном участке. После распада СССР правопреемником этого участка стала Российская Федерация. 22 ноября 1994 г. Указом Президента Российской Федерации за № 2099 «О деятельности российских физических и юридических лиц по разведке и разработке минеральных ресурсов морского дна за пределами континентального шельфа» государственное геологическое предприятие НПО «Южморгеология» определено разработчиком минеральных ресурсов на заявленном и выделенном МОД ООН участке морского дна в Тихом океане.

На современном этапе ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» проводит поисково-разведочные и опытно-ме-

тодические работы разведочной стадии на ЖМК в пределах Российского разведочного района (лицензионный участок морского дна площадью 75 тыс. км²). Исследования проводятся на основании контракта на разведку, заключенного 29 марта 2001 г. между Международным органом по морскому дну и Государственным предприятием «Южморгеология». Согласно этому контракту Российской Федерации в лице ГНЦ «Южморгеология» предоставлено исключительное право на разведку полиметаллических руд в разведочном районе в соответствии с утвержденным планом работ по разведке в течение 15 лет.

10.1. Ресурсы твердых полезных ископаемых Мирового океана

Потребность в минеральных ресурсах в мире неуклонно возрастает. Каждые 15 лет удваивается потребление минерального сырья. Традиционные источники ресурсов, в частности месторождения твердых полезных ископаемых на суше, заметно истощаются. Поэтому изучение и освоение минеральных ресурсов дна Мирового океана стало первоочередной проблемой, требующей практического решения. Последние десятилетия ознаменовались интенсификацией морских работ, направленных на изучение всех видов полезных ископаемых. Достигнутые в этом направлении успехи позволяют дать весьма высокую оценку минерально-сырьевого потенциала океанского дна (табл. 10.1.1). В настоящее время уже сформировались представления о перспективных геолого-промышленных типах океанских месторождений. К ним в первую очередь можно отнести следующие. 1. Месторождения железомарганцевых конкреций (ЖМК). 2. Залежи кобальтоносных железомарганцевых корок (КМК). 3. Металлоносные осадки красноморского типа. 4. Скопления массивных сульфидных руд. 5. Залежи газогидратов. Многие государства, в первую очередь США, Франция, Россия, Япония, КНР, Индия, Республика Корея и другие, проводят активную подготовку к началу освоения морских месторождений.

Таблица 10.1.1

Содержания и ресурсы стратегических металлов в рудах Мирового океана и континентов (Андреев и др., 2006)

Основные виды океанского минерального сырья	Металлы	Мировой океан		Континенты		Соотношение потенциальных ресурсов океан/суша
		Содержания	Потенциальные ресурсы	Содержания	Потенциальные ресурсы	
Железо-марганцевые руды	Ni	0,022–1,42%	656,84 млн т	0,3–2,44%	90–95 млн т	6,91
	Cu	0,021–2,96%	427,38 млн т	0,6–4,0%	725 млн т	0,59
	Co	0,032–0,73%	358,08 млн т	0,1–0,6%	6,0 млн т	59,68
	Mn	3,29–36,05%	20958,57 млн т	20–44%	8900 млн т	2,35
	Pt	0,002–1,83 г/т	14,798 тыс. т	3,9–4,2 г/т	24,8 тыс. т	0,60
	Mo	0,004–0,06%	39,03 млн т	0,01–0,12%	11,4 млн т	3,42
Глубоководные сульфиды	Cu	0,2–37,75%	7,996 млн т	0,6–4,0%	725 млн т	0,01
	Zn	0,14–23,64%	14,096 млн т	4–10%	298,3 млн т	0,05
	Pb	0,00–9,3%	1,574 млн т	0,5–12%	125,7 млн т	0,01
	Ag	3,54–1213 г/т	40,29 тыс. т	10–400 г/т	533 тыс. т	0,08
	Au	0,14–32,2 г/т	0,89 тыс. т	2–15 г/т	75,6 тыс. т	0,01

Таблица показывает, что прогнозные ресурсы океанского кобальта во много раз (59,68) превосходят ресурсы этого металла на суше; никеля, молибдена и марганца — значительно превышают аналогичные показатели на континентах (6,91, 3,42, 2,35); платины — уступают в два раза (0,60); меди, цинка, свинца, серебра и золота — ограничены.

Планируемое в обозримом будущем освоение минеральных ресурсов Мирового океана имеет огромное значение для России. Наша страна испытывает резкий дефицит марганца, недостаток меди, кобальта, в ближайшей перспективе столкнется с нехваткой никеля и других металлов, которыми богаты руды океанских месторождений. Не случайно одно из основных положений Морской доктрины РФ, принятой в 2001 г., гласит, что «освоение ресурсов Мирового океана является обязательным и необходимым условием сохранения и расширения сырьевой базы РФ, обеспечения ее экономической независимости».

В настоящее время по степени изученности и подготовленности к промышленному освоению первое место занимают оксидные руды океана: железомарганцевые конкреции и кобальтоносные железомарганцевые корки.

Железомарганцевые конкреции и корки являются сырьем комплексного типа. Основные элементы конкреций: Mn, Ni, Co, Cu. Попутно могут извлекаться еще 29 элементов: благородные металлы (Au, Ag, МПГ), рассеянные элементы (Mo, Te, Ta, Bi, Rb, Hf), редкие (V, Zr) и некоторые редкоземельные элементы группы церия и иттрия. Уровень содержания попутных компонентов в конкрециях может быть охарактеризован следующими показателями: Mo — 0,06 %, Au — 0,03 г/т, Ag — 1,1 г/т, Pt — 0,12 г/т, TR — 0,5 кг/т.

В отличие от конкреций, в которых преобладает Mn, корки содержат почти равные количества Fe и Mn, зато Co в них примерно в 3 раза больше, чем в конкрециях. По содержанию Ni, Zn, Cu корки уступают конкрециям. Корки являются кондиционными рудами по содержанию Mn и Co, попутно из них могут извлекаться Ni, Cu, Pt, Mo, V, TR.

Оксидные руды океана характеризуются высоким содержанием основных компонентов по сравнению с рудами континентальных месторождений (в особенности российских), содержание металлов в которых обнаруживает устойчивую тенденцию к снижению (табл. 10.1.2).

Таблица 10.1.2

Содержание металлов в добываемых рудах России и в месторождениях Мирового океана (по Е. Козловскому, 2004)

Металл	Содержание металла, %						
	Месторождения суши					Месторождения Мирового океана	
	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	ЖМК	КМК
Никель	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	1,28	0,46
Кобальт	0,048	0,047	0,045	0,043	0,040	0,20	0,60
Медь	0,82	0,86	0,82	0,80	0,79	1,02	0,40
Марганец	22,0	20,0	20,5	20,2	20,0	26,8	22,6

Что касается Mn, то в ЖМК и КМК он представлен оксидными рудами металлургического сорта, которые по качеству значительно превосходят карбонатные руды российских месторождений. По извлекаемой ценности содержащихся в них компонентов оксидные руды могут рассматриваться как богатые (табл. 10.1.3).

Таблица 10.1.3

Извлекаемая ценность полезных компонентов (по И.Ф. Глузову, И.И. Кузнецову, М.С. Проказову, 2002)

Тип руды	Извлекаемая ценность руб./т
Сплошные сульфидные медно-никелевые	325–341
Вкрапленные сульфидные медно-никелевые	115–122
ЖМК	252–344
КМК	697–727

Очень важным показателем высокого качества оксидных руд является коэффициент извлечения металлов. Разработаны два способа переработки оксидных руд: пирометаллургический и гидрометаллургический. Сквозное извлечение металлов (в %) при использовании указанных методов составляет соответственно: никеля — 90 и 94, меди 88 и 83, кобальта 86 и 92, марганца 74 и 82.

Помимо этого оксидные руды являются высокоэффективным природным сорбентом. Расчеты показывают, что использование ЖМК и КМК и продуктов их переработки для очистки сбросовых вод промышлен-

ных (металлургических, металлообрабатывающих и др.) предприятий обеспечит повышение за счет сорбции содержания металлов: меди и никеля в 5–10 раз, кобальта — в 20–25 раз.

Экспертные количественные оценки ресурсов железомарганцевых образований дают различные, но весьма высокие показатели. По данным С. Андреева и его соавторов (1999), основной ресурсный фонд железомарганцевых образований сосредоточен в пределах 20 полей железомарганцевых конкреций и корок и распределен следующим образом. Наиболее значительные ресурсы находятся в Тихом океане (13 полей) — всего 61,03 млрд т. В Индийском океане известны 5 полей — всего 11,88 млрд т руды. В Атлантическом океане — 2 поля: 2,32 млрд т руды.

Общие мировые ресурсы ЖМК и корок, по этим данным, в пределах полей оцениваются в 75,3 млрд т сухой рудной массы. Их структура следующая: 64,59 млрд т отвечают категории Р3 и выше; они считаются установленными; 10,71 млрд т представляют собой так называемые геологические ресурсы. Если вместе с крупными полями учесть ресурсы, рассеянные по площадям небольшого скопления, то суммарные ресурсы составят 102,43 млрд т сухой рудной массы. Надо заметить, что имеются и другие оценки ресурсов, некоторые из них приведены в последующих разделах.

По оценкам цитированных источников, при интенсивной добыче полномасштабная рентабельная отработка конкреций может продлиться 40–60 лет, после чего конкреционный потенциал океана в основном истощится. Ресурсы корок могут быть освоены за 80–100 лет (Андреев и др., 1999).

Технико-экономические расчеты подтверждают техническую возможность и экономическую целесообразность отработки месторождений ЖМК.

Сбор конкреций со дна не требует разрушения донной поверхности, поскольку они залегают на мягких глинах. Опыты по подъему конкреций на поверхность проводились в США и Японии. Рассматривались два способа. Это эрлифт, разрабатываемый в США, и многоковшовая система на канатах нейтральной плавучести, разрабатываемая в Японии (рис. 10.1.1).

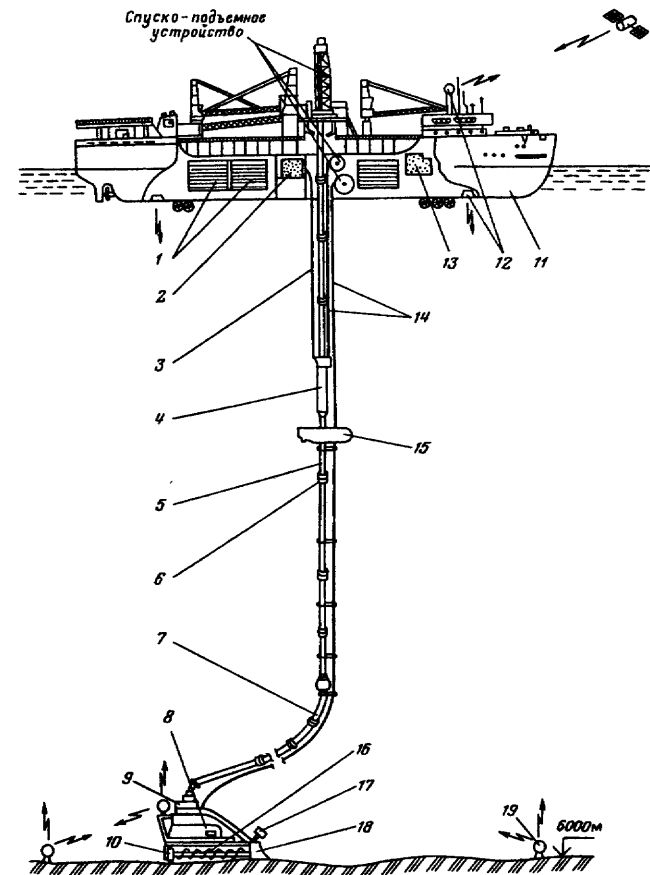


Рис. 10.1.1. Проект опытно-промышленного добычного комплекса для железомарганцевых конкреций:

- 1 — механизированный склад трубных секций; 2 — судовая компрессорная установка; 3 — воздухопровод; 4 — глубоководный насосный агрегат; 5 — трубные секции; 6 — замки трубных секций; 7 — гибкий трубопровод; 8 — агрегат сбора; 9 — навигационно-управляющая система агрегата сбора; 10 — глубоководные электродвигатели; 11 — судно опытной добычи; 12 — навигационно-управляющая система; 13 — установка первичного обогащения; 14 — глубоководные кабели; 15 — устройство переменной плавучести с двигателями; 16 — двигатели и гидравлические приводы агрегата сбора; 17 — глубоководный телевизионный комплекс; 18 — устройство сбора конкреций; 19 — система придонной навигации

Международный орган подписал контракты с предприятиями, представляющими отдельные страны, владеющие участками (разведочными районами по терминологии органа), и с международными консорциумами на проведение геологоразведочных работ по утвержденным программам до 2015 г. Программы предусматривают разработку технологии разведки, исследования экологического фона до начала массового нарушения экосистемы. Начало собственно освоения месторождений — добычи конкреций будет определено в общем случае конъюнктурой рынка металлов, а для каждой страны или консорциума — технической готовностью и геологической обеспеченностью процесса добычи и металлургического передела руды.

Еще больший интерес проявлен в мире к железомарганцевым рудным коркам. Их исследование ведутся как в исключительных экономических зонах островных государств западной части Тихого океана, так и в Международном районе. Корки представляют интерес прежде всего в связи с тем, что в некоторых из них содержание кобальта достигает 2 % при минимальных концентрациях более 0,4 %, тогда как в известных промышленных месторождениях суши содержание этого металла варьирует от 0,1 % и несколько меньше — до 2 %. Ресурсы КМК в северо-западной части Тихого океана оцениваются в 1842 млн т сухой руды, содержащей около 380 млн т Mn и 10 млн т Co.

С разной степенью детальности изучены рудные корки горы Экватор, локальных поднятий Кокосовой котловины (Индийский океан), гайотов и острововершинных гор западной части Тихого океана (Императорский хребет, Мид Пасифик, система поднятий Маркус-Уэйк-Неккер, Магеллановы горы). В этих районах ведут исследования кроме Российской Федерации, Китай, международные экспедиции европейских стран и др. В ГНЦ «Южморгеология» ведутся работы по подготовке заявки в Подготовительную комиссию Международного органа по морскому дну ООН на выделение Российской Федерации участка для дальнейшего освоения.

Корки достаточно прочно соединены с субстратом, представляющим собой скальные породы. В этом заключается основная проблема освоения корок как по-

лезного ископаемого. Во-первых, при разработке существенная часть субстрата будет поднята вместе с рудным материалом, что приведет к значительному разубоживанию. Во-вторых, разрушение поверхности дна при разработке будет иметь негативные экологические последствия. Еще одна проблема — это сложность горно-геологических условий будущей добычи, обусловленная резкой расчлененностью рельефа дна в зонах развития корок. Сегодня отсутствуют не только технические средства и технология разработки корок, но и общая идеология разрушения твердого вещества на дне, сбора осколков и подъема раздробленной массы на поверхность (на суда-рудовозы).

Тем не менее, по свидетельству Е.А. Козловского, сейчас разрабатываются два различных способа: 1) использование гусеничных машин, соединенных с надводными судами системой гидравлических трубопроводов; 2) использование абразивно-струйных систем Hydrojet, в которых давление струи достигает 200 бар.

Технико-экономические расчеты зарубежных экспертов подтверждают возможность эксплуатации КМК на подводных горах. Согласно этим расчетам, рентабельность таких разработок оценивается в 14,3 – 19,5 %, срок окупаемости капитальных вложений 3 – 3,5 года.

10.2. Железомарганцевые конкреции абиссальных котловин

Решение проблемы освоения минеральных ресурсов Международного района морского дна вступило в фазу практической реализации. В связи с этим особую важность и актуальность приобретают задачи, связанные с прогнозированием, поисками, разведкой и геолого-экономической оценкой месторождений полезных ископаемых дна Мирового океана.

Геологическое строение месторождений железомарганцевых конкреций

Наиболее перспективным для практического освоения видом минерального сырья глубоководных районов дна Мирового океана являются в настоящее время

гигантские донно-поверхностные скопления железомарганцевых конкреций (ЖМК), представляющие собой высококачественную руду на никель, медь, марганец и кобальт.

Абиссальные ЖМК — особый тип полиметаллических руд. Железомарганцевые конкреции — сложные многокомпонентные образования, содержащие более 60 элементов в количествах, значительно превышающих кларк.

Конкреционные руды, в основной массе, представляют собой округлые стяжения черного или буровато-черного цвета с шероховатой поверхностью, которые залегают на поверхности дна обычно в один слой в полупогруженном в осадок состоянии. Иногда они образуют сплошной покров типа конкреционных «мостовых». Размеры конкреций в поперечнике составляют чаще всего 3—10 см. Для конкреционных образований характерна высокая изменчивость формы, размеров, особенностей поверхностной структуры и внутреннего строения в зависимости от условий локализации. Изменчивость масштабов оруденения донной поверхности имеет высокую степень как на региональном, так и на локальном уровнях.

Химический состав ЖМК в разных регионах Мирового океана различен. В среднем по Мировому океану железомарганцевые конкреции содержат 20,73 % марганца, 10,75 % железа, 0,78 % никеля, 0,58 % меди и 0,24 % кобальта. Помимо основных компонентов конкреций в них содержатся попутные элементы: цинк, свинец, молибден, олово, золото, серебро, элементы платиновой группы, элементы редкоземельной группы, селен, теллур, кадмий, висмут, галлий, германий, индий, рений, таллий, хром, мышьяк, сера, фосфор.

Среди железомарганцевых конкреционных рудных образований Мирового океана выделяются природные разновидности, локализующиеся в разных фацциально-генетических условиях и различающиеся по своим структурно-текстурным, минералогическим и химическим характеристикам. Известны различные классификации железомарганцевых конкреций даже для одной и той же рудной провинции, разработанные разными исследователями (табл. 10.2.1).

По результатам исследований ГНЦ ФГУП «Южморгеология» и других организаций Российской (Советской) геологической службы, проведенных с 1979 по 2005 г. на площади рудной провинции Клариион-Клиппертон, среди развитых здесь конкреционных образований выделены три основные природные разновидности: две крайние А и С и промежуточная В, получившие названия генотипов (таблица 10.2.2).

Конкреции фацциальной разновидности С имеют крупный размер (в среднем крупнее 7 см), бугристую скульптуру поверхности, экваториальный поясик, грубослоистую внутреннюю текстуру и рудные ядра (рис. 10.2.1). Они сложены преимущественно хорошо окристаллизованными бузеритом I и асболан-бузеритом и по составу являются более марганцевистыми (Mn/Fe в среднем 5,23), содержащими более высокие концентрации Mn, Ni и Cu (в среднем 30,6, 1,45 и 1,14 % соответственно). Значительно более мелкие (обычно от 2 до 5 см в поперечнике) конкреции разновидности А характеризуются гладкой поверхностью, отсутствием экваториального пояса, полигональными, сферическими, часто сростковыми формами, тонкослоистой текстурой и в качестве ядер содержат обломки осадочных пород. Эти образования сложены преимущественно вернадитом и неустойчивым бузеритом или слабоокристаллизованным бузеритом I, являются более железистыми по составу (Mn/Fe в среднем 3,25) и относительно обеднены основными рудными компонентами (средние содержания Mn, Ni, Cu — 24,8 %, 1,21 % и 0,91 % соответственно). Конкреции разновидности В характеризуются разнообразными формами и промежуточным минеральным и химическим составом по сравнению с основными разновидностями. Предполагается, что конкреции разновидности С формируются в большей степени за счет подтока вещества, высвобождающегося в процессе диагенеза осадков, а конкреции А — в условиях доминирования гидрогенного поступления рудных компонентов. Существуют и другие точки зрения на происхождение железомарганцевых конкреций, в том числе гальмиролитическая (Авдонин, Кругляков, 2005).

Таблица 10.2.1

Сравнительная характеристика классификаций железомарганцевых конкреций рудной провинции Клариион-Клиппертон, разработанных различными исследователями (составила И.М. Горелик)

Автор	Морфогенотипы ЖМК			
	К-фация	Е/S-фация	В-фация	СГ-фация
Meyer K., 1973, 1976	Сферические, эллипсоидные, часто сростки. Разновидности: Кг — размер от 0,5 до 5 см. Кж — размер от 1,5 до 6 см. Хрупкие	Эллипсоидные до сферических. Поверхность — гладкая, размер ЖМК от 2 до 6 см. Мп — 24,7 %, Fe — 6,7 %, Ni — 1,29 %, Cu — 1,09 %, Co — 0,20 %	Дискоидальные, грибовидные. Верх — гладкий, низ — шероховатый. Экваториальный поясок. Размер — от 3 до 15 см. Мп — 27,9 %, Fe — 5,4 %, Ni — 1,40 %, Cu — 1,22 %, Co — 0,19 %	СГ-фация
Piper D.Z. et al., 1979	Эллипсоидные моно- и поликонкреции с гладкой поверхностью, сложены δ -MnO ₂ . Размер — от 1,5 до 3,0 см. Обогащены Co. Гидрогенные	Неправильно сферические, гладко-грубая. Очень черные. Размер до 25 см. Ядра — паллагонит, обломки пород корки до 20 см. Ядра —	Дискоидальные, эллипсоидные, верх — гладкий, низ — шероховатый. Размер — более 4,5 см. Сложены тодорокитом. Обогащены Ni, Cu. Диагенетические	В
Soren R., Fewkes R., 1977	Сферические с тонкослойной текстурой, поверхность гладкая. Ядра — обломки пород	—	Дискоидные с грубослойной текстурой, поверхность шероховатая. Ядра — обломки ЖМК. Прерывистость роста	В

Haibach P., Özkara M., Hense J., 1975; Haibach P., Özkara M., 1979	Сферические, эллипсоидные моно- и поликонкреции, тонкопористые, с гладкой поверхностью. Ядра — обломки пород. Размер — от 0,5 до 8,0 см. Сложены δ -MnO ₂ , 10 Å тодорокитом, Ti, Co до 0,35 %. Мп — от 16 до 26 %. Mn/Fe < 2,5, Ni+Cu — от 1,1 до 1,9 % TiO ₂ > 1,2. Гидрогенные	Переходный тип. Эллипсоидные, дискоидальные. Верх — гладкий, низ — шероховатый. Имеется экваториальный поясок. Ядра — обломки пород, ЖМК. Размер ЖМК — от 14 см. Минеральный состав — Mn/Fe > 4,0. Ni+Cu — от 2,0 до 3,2 %, Mn — 23–32 %, Fe < 7 %, Co 0,1–0,2 %. Раннедиагенетические	Сферические, с грубoporистой шероховатой поверхностью. Ядра — обломки древних ЖМК. Размер — от 1,0 до 3,5 см. Сложены δ -MnO ₂ , тодорокитом. Обогащены Mn, Cu, Ni, Zn, Mo. Размер — от 2,0 до 3,2 %, Mn — 23–32 %, Fe < 7 %, Co 0,1–0,2 %. Раннедиагенетические	А
Скорнякова Н.С., 1984	Полидерные гроздьевидные, сферические, с гладкой поверхностью. Сложены δ -MnO ₂ с участием 10 Å тодорокита, гетитом. Мп — 19,8 %, Fe — 11,5 %, Co — 0,36 %, Ni — 0,69 %, Cu — 0,46 %, Pb — 0,07 %, > TiO ₂ . Гидрогенные	Дискоидные, эллипсоидные, с гладким верхом и шероховатым низом. Сложены δ -MnO ₂ с участием тодорокита. Обогащены Mn, Ni, Cu. Mn/Fe от 2,5 до 5,0. Гидрогенно-диагенетические	Монодерные дискоидные, сферические, эллипсоидные с крупноглобулярной поверхностью. Сложены хорошо тодорокитом, бернесситом. Мп — 25,5 %, Fe — 6,2 %, Co — 0,20 %, Ni — 1,14 %, Cu — 0,98 %, Pb — 0,02 %, < TiO ₂ , Zn — 0,11 %. Диагенетические	Д

Таблица 10.2.2

Характеристика типов ЖМК рудной провинции Кларин-Клипертон (материалы ГНЦ «Южморгеоология», по В.В. Круглякову, И.Н. Пономаревой, 2001)

Характеристика	Генотип		
	A	B	C
Условия залегания	Вершинные поверхности, преимущественно их краевые части	Вершинные поверхности	Днищевые и осевые части вершинных поверхностей
Распределение на поверхности дна	Неравномерное, вытянутое в почки до сплошного покрытия	Незакономерный или периодичный	Равномерное, по принципу гексагональной упаковки
Присыпанность	Не присыпаны	В отдельных случаях частично присыпаны	Присыпаны, в некоторых случаях даже при наличии в пробе не обнаруживаются оптических методами
Размер	Мелкие. Массу определяет фракция 2-5 см	Преобладающих размеров нет, но в среднем ~5 см	Крупные. Массу определяет фракция 7-12 см
Поверхность	Близка к гладкой, экваториальный пояс не выражен	Возможны и гладкая, и бугристая	Бугристая, снизу осложнена рыхлой микроструктурой. Экваториальный пояс выражен усилением рельефа
Морфотип	Полигональный — 45 %, сростковый — 35 %, дисковидный — 10 %, прочие — 10 %	Полигональный — 45 %, сростковый — 25 %, дисковидный — 25 %, прочие — 5 %	Дисковидный — 50 %, полигональный — 35 %, остальные — 15 %
Ядро	Филлипсит — 75 %, фрагменты А — 25 %	Филлипсит — 53 %, фрагменты конкреций — С 25 %, А — 10 %, другие объекты — 12 %	Фрагменты конкреций С — 70 %, филлипсит — 3 %, прочие объекты — 5 %, ядро визуально не определяется в 22 % случаев

ТАБЛА 10

ПОИСК И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕЩНОСЛОИСТЫХ ЖЕЛЕЗОМАГНЕЗОВЫХ РУД

Включения	Обломки цеолитов, биогенные остатки	Включения крайне редки
Текстура	Тонкослоистая	Грубослоистая
Структура	Фестончатая, столбчатая	Дендритовая
Толщина отдельных слоев	Доли миллиметра	Миллиметры
Плотность, г/см ³	2,01	1,97
Влажность, %	31	33
Минеральный состав	Группа 5 Å минералов: вернадит, п-бузериит, тодорокит	Тодорокит, группа 10 Å минералов: бузериит I, бузериит II, асболан-бузериит
Реакция минералов при хранении и высушивании	Не изменяются	За счет 10 Å минералов появляется бернесит
Mn, %	24,84	30,63
Fe, %	7,64	5,86
Модуль Mn/Fe	3,25	5,23
Ni, %	1,21	1,45
Co, %	0,24	0,22
Cu, %	0,91	1,14

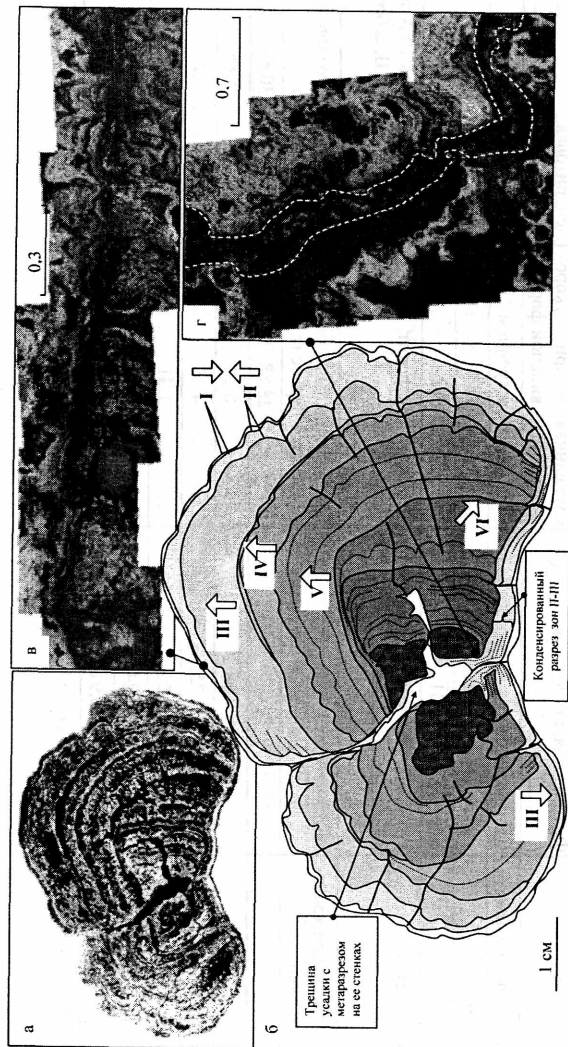


Рис. 10.2.1. Пример внутреннего строения конкреций фациальной разновидности С. Результаты микростратиграфического анализа, выполненного в ЮРГУ (по М.Е. Мельникову, В.М. Юбко и др., 2003): а — ЖМК в срезе; б — прорисовка среза, номерами промаркированы зоны и подзоны, стрелками показана ориентировка ЖМК в шл на момент формирования данных зон и подзон; в — параллельное стратиграфическое несогласие; г — структурное стратиграфическое несогласие с базальным слоем (выделен пунктиром) на границе обломка древней ЖМК

Конкреции всех генотипов располагаются на поверхности морского дна, образуя скопления различной плотности с беспорядочным (или нерасшифрованным) структурным рисунком распределения (рис. 10.2.2, 10.2.3).

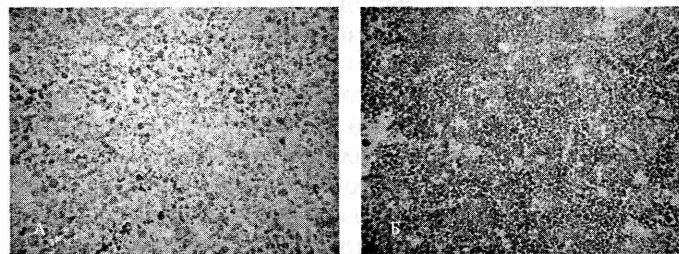


Рис. 10.2.2. Примеры характера залегания конкреций фациальной разновидности А (материалы непрерывного фотопрофилрования): А — конкреции и корки на обломках плиты; Б — конкреции в плотном залегании с элементами разнонаправленных цепочек

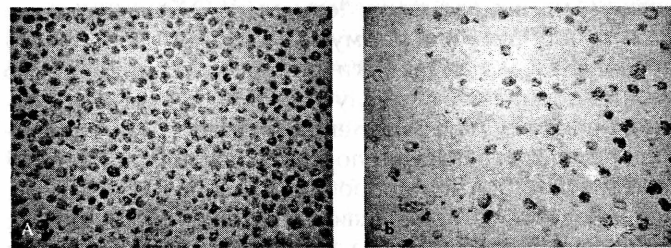


Рис. 10.2.3. Примеры характера залегания конкреций фациальной разновидности С: А — регулярное плотное равномерное залегание; Б — неравномерное залегание

Железомарганцевые конкреции представляют единый технологический (промышленный) тип окисных руд. Природные фациальные разновидности — А, В и С рассматриваются как промышленные сорта единого типа руд, различающиеся содержанием полезных компонентов. Для переработки этих сортов применима единая технология: пирометаллургический или гидрометаллургический методы. В зависимости от промышленного сорта конкреционных образований, развитых

в пределах той или иной рудной площади, определяется ее перспективность.

Разработка **таксономического ряда** абиссальных скоплений железомарганцевых конкреций в настоящее время не завершена. Это объясняется, с одной стороны, гораздо более слабой степенью изученности этого вида минерального сырья по сравнению с наземными полезными ископаемыми, что является следствием весьма непродолжительного срока планомерного изучения скоплений ЖМК с прикладными целями, не превышающего четырех-пяти десятилетий, и глубоководных условий их залегания. С другой стороны, ресурсы абиссальных конкреционных железомарганцевых руд сосредоточены в Международном районе дна Мирового океана, т. е. за пределами национальной юрисдикции государств, и являются объектом международно-правового регулирования на основании Конвенции ООН по морскому праву, принятой 30 апреля 1982 г. Данным обстоятельством определяется условный характер понятия «месторождения ЖМК», которое связывается с участком дна, выделенным Международным органом по морскому дну тому или иному государству или субъекту для разведки и разработки ресурсов минерального сырья на основе соответствующего Контракта, заключенного с МОД ООН. Выделенные участки («месторождения») имеют ограниченную площадь и искусственный характер границ, о чем подробнее сказано ниже. Кроме того приходится учитывать своеобразие конкреционных скоплений, проявляющееся в размерах занимаемых ими площадей, значительно превышающих площади аналогичных по таксономическому рангу металлогенических подразделений суши. Так, например, скопления ЖМК, локализованные в пределах Российского разведочного района и других лицензионных участков и соответствующие по таксономическому рангу понятию месторождения, занимают площади в несколько десятков тысяч квадратных километров каждое, при этом площади слагающих их индивидуальных рудных залежей ЖМК часто достигают 100 км² и более, приближаясь по размеру к типичным рудным полям суши.

Известны различные варианты таксономического ряда абиссальных скоплений ЖМК (Железомарганце-

вые конкреции Мирового океана, 1984; Казмин и др., 1988; Андреев, 1994; Методические указания по проведению геологоразведочных работ на железомарганцевые конкреции Мирового океана, 1992, 1995, 1997; Юбко и др., 2001). Ниже приведен таксономический ряд объектов исследования на ЖМК Мирового океана, разработанный с учетом всех накопленных к настоящему времени сведений об условиях локализации и строения разномасштабных скоплений ЖМК и максимально приближенный к таксономическому ряду скоплений полезных ископаемых, разработанному для суши (Смирнов, 1983; Старостин и др., 2002).

Рудные провинции — потенциально-рудноносные абиссальные котловины или их крупные, однородные в структурно-тектоническом отношении части.

Рудные поля — приуроченные к конкретным структурно-тектоническим элементам абиссальных котловин скопления железомарганцевых конкреций, степень изученности которых допускает оценку их качественных и количественных характеристик.

Месторождения — скопления железомарганцевых конкреций в пределах участка дна, выделенного Международным органом по морскому дну (МОД ООН), запасы и качество руд которых удовлетворяют требованиям рентабельной эксплуатации на условиях, определяемых МОД ООН.

Рудные залежи (рудные тела) — главный элемент структуры месторождений, представляющий собой индивидуальное конкреционное скопление, форма и размеры которого контролируются локальными геоморфологическими условиями, а границы имеют в основном естественный характер.

Рудопроявления ЖМК — предположительно локальные скопления железомарганцевых конкреций, установленные на основе прямых единичных наблюдений.

Особенности условий локализации скоплений (месторождений) ЖМК. Проведение работ по поиску и разведке глубоководных месторождений ЖМК имеет специфическую особенность, связанную с местонахождением данных скоплений в пределах Международного района дна Мирового океана, ресурсы кото-

рого, в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву (1982), являются общим наследием человечества.

Выполнение поисковых, разведочных и добычных работ в пределах Международного района дна Мирового океана, в соответствии с международно-правовыми нормами Конвенции, регламентируется документами Международного органа по морскому дну, который создан для управления минеральными ресурсами Района, и Международного трибунала по морскому праву, в частности, Правилами поиска и разведки полиметаллических конкреций в Районе (2000). Работы разведочной стадии в Международном районе дна Мирового океана могут осуществляться только в пределах выделенных Международным органом районов на основе соответствующих контрактов, заключенных с МОД ООН (рис. 10.2.4).

Спецификой конкреционных месторождений является искусственный характер их границ. Это связано с тем, что в целях соблюдения интересов всех государств мирового сообщества, в том числе и не имеющих выхода к Мировому океану, размеры районов, выделенных МОД ООН странам-заявителям для первоначальной деятельности (под этим подразумевается исследование скоплений железомарганцевых конкреций до начала разработки), ограничиваются определенными пределами (150 000 км²). Еще один участок такой же площади (150 000 км²) и такой же степени изученности на этом этапе подготавливается заявителем для передачи в распоряжение Международного органа. Кроме того, еще половина площади, исследованной каждым заявителем, передается в распоряжение МОД ООН и резервируется в интересах развивающихся стран и народов, т. е. площадь каждого района, выделенного МОД ООН для разработки ЖМК, не должна превышать 75 000 км², при этом применяется принцип равной предположительной коммерческой ценности выделенных и зарезервированных районов. Этап промышленной разработки выделенных участков, согласно Конвенции, ограничивается сроком 20 лет. При этом ограничивается объем годового производства никеля на уровне 46 500 т, что с учетом среднего содержания никеля в товарной руде и извлекаемости при переработке соответствует объему годо-

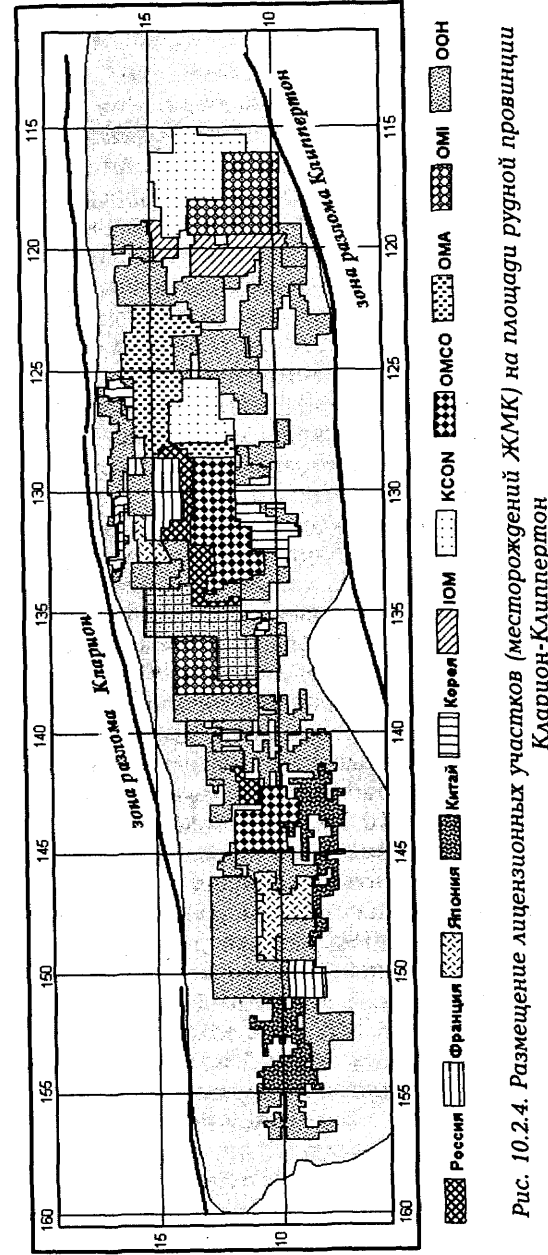


Рис. 10.2.4. Размещение лицензионных участков (месторождений ЖМК) на площади рудной провинции Кларрион-Клиппертон

вой добычи железомарганцевых конкреций на уровне 3–5 млн т в сухой массе.

Таким образом, площадь месторождения ЖМК ограничена размерами участка, выделенного Международным органом ООН той или иной стране-заявителю.

Распространение. Скопления железомарганцевых конкреций широко развиты в пределах Мирового океана (рис. 10.2.5). В настоящее время в Мировом океане выделено 39 конкрециеносных провинций (табл. 10.2.3), отличительными признаками которых являются крупные размеры занимаемых ими площадей (сотни тысяч и миллионы квадратных километров). Наиболее перспективные скопления ЖМК установлены в абиссальных областях центральной части Тихого (провинции Клариион-Клиппертон, Перуанская, Центрально-Тихоокеанская) и Индийского (Амстердамская и Центрально-Индийская провинции) океанов.

В пределах провинций выделяются рудные поля ЖМК, площадь которых исчисляется многими десятками и сотнями тысяч квадратных километров. Наиболее богатые по содержаниям полезных компонентов поля находятся в Тихом океане. На площади тихоокеанской провинции Клариион-Клиппертон выделены три крупных конкреционных поля: Центральное, Восточное и Западное, в пределах которых сосредоточены все, за единственным исключением, выделенные в настоящее время лицензионные участки — месторождения железомарганцевых конкреций (рис. 10.2.4, 10.2.6). С наиболее бедными из тихоокеанских могут сравниться лишь наиболее обогащенные рудными компонентами конкреционные поля Индийского океана (Центрально-Индийское, Диамантина). В пределах Центрально-Индийского рудного поля также выделены лицензионные участки морского дна, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к абиссальным месторождениям ЖМК. Для Атлантического океана поля с богатыми ресурсами ЖМК и высокими содержаниями рудных элементов не характерны.

Прогнозные ресурсы железомарганцевых конкреций, сосредоточенные в пределах Тихого океана, оцениваются в 349 млрд т, ресурсы ЖМК Индийского и Атлантического океанов — около 105 млрд т и 41 млрд т соответственно.

Таблица 10.2.3

Площадь и прогнозные ресурсы ЖМК основных конкрециеносных провинций Мирового океана

Название провинции	Площадь провинции, тыс. км ²	Кол-во геолог. станций	Прогнозные ресурсы ЖМК, млн т
1	2	3	4
Тихий океан			
1. Беллинсгаузена	6715	94	40 290,0
2. Южно-Тихоокеанская	16 820	546	96 657,9
3. Южно-Тихоокеанского поднятия	2355	32	14 130,0
4. Восточно-Марианская	1350	1635	5327,9
5. Центрально-Тихоокеанская	7327	2197	57 288,7
6. Северо-Западная	3576	282	14 304,0
7. Каролинская	1563	3	3156,2
8. Меланезийская	1279	212	2865,0
9. Молокаи-Клариион	4053	469	17 884,3
10. Чинук-Сервейер	1213	47	2426,0
11. Мендосино-Меррей	1932	61	3864,0
12. гор Музыкантов	1569	179	2449,6
13. Меррей-Молокаи	2479	124	5701,7
14. Клариион-Клиппертон	5810	14 669	32 561,6
15. Маркизская	740	220	2162,0
16. Перуанская	4397	1744	18 827,1
17. Чилийская	2525	39	7575,0
21. Тасманийская	1593	28	4779,0
25. Филиппинская	3279	169	9837,0
26. Манихики	475	48	1584,8
27. Гватемальская	1151	129	5179,5
			34 8850,4
Индийский океан			
18. Центрально-Индоканская	3757	1115	9310,3
19. Западно-Австралийская	3932	329	7872,5
20. Натуралиста	939	34	2817,9
22. Австрало-Антарктического поднятия	2248	50	13 488,0
23. Южно-Индоканская	3241	68	14 584,5
24. Амстердамско-Южноавстралийская	4723	325	32 084,0

Таблица 10.2.3 (окончание)

1	2	3	4
28. Аравийская	156	14	311,6
29. Сомалийская	1540	91	3103,9
30. Маскаренско-Мадагаскарская	2522	84	12 024,0
31. Мозамбикской котловины	904	33	2712,6
33. Крозе	2455	59	7365,0
			105 674,3
Атлантический океан			
32. Капская-Агульяс	4140	88	18 890,1
34. Дрейка-Скотия	1120	67	6720,0
35. Фолклендского плато	857	76	3939,0
36. Северо-Американская	4610	193	4767,7
37. Канарская	875	19	875,0
38. Ангольская	788	15	1118,0
39. Бразильская	3404	77	4820,6
			41 130,4

Закономерности распределения руд. Наиболее общие закономерности заключаются в том, что конкреционные железомарганцевые руды Мирового океана располагаются в областях пелагического седиментогенеза, общим свойством которого являются чрезвычайно низкие скорости осадконакопления (1 мм и менее в тысячу лет). Низкая скорость седиментации в районах абиссальных котловин обеспечивается следующими условиями:

- удаленность от источников терригенного материала;
- приуроченность к зонам низкой биологической продуктивности водной толщи;
- положение участков дна вблизи и ниже критической глубины карбонатакопления;
- деятельность донных течений, обеспечивающих ненакопление или эрозию глубоководных осадков.

Важным фактором для формирования скоплений железомарганцевых конкреций является близость участков дна к разломам, служащим путями поставки эндогенных энергии и рудного вещества.

Наиболее перспективные скопления ЖМК располагаются обычно на участках дна, находящихся ниже

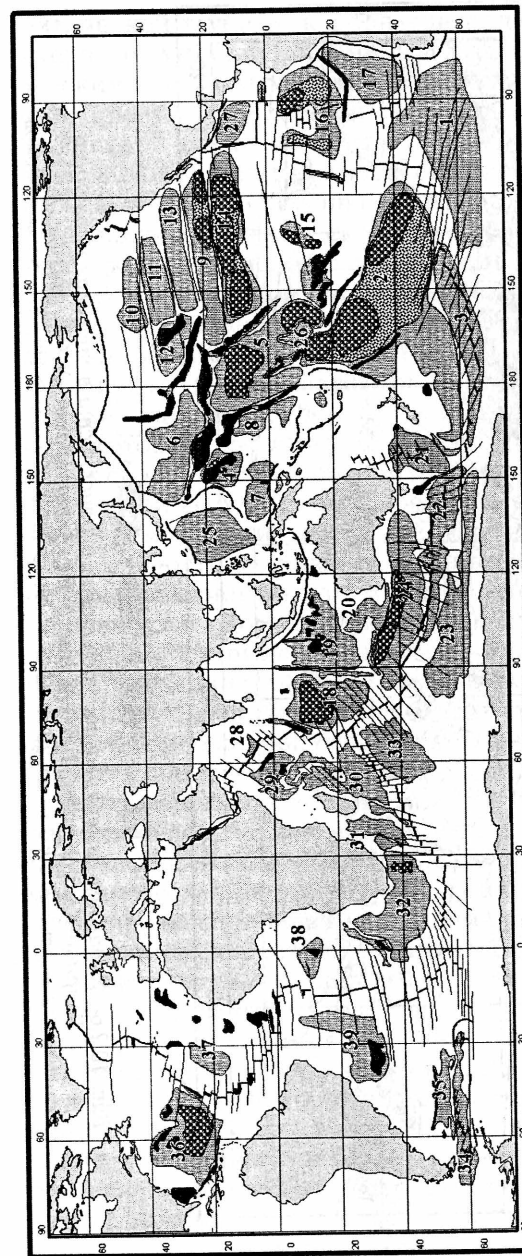


Рис. 10.2.5. Характер размещения рудных провинций, районов и полей железомарганцевого окисного оруденения в Мировом океане:

1 — провинция абиссального железомарганцевого окисного оруденения; 2, 3 — рудные районы; 2 — железомарганцевых конкреций, 3 — кобальтомарганцевых корок; 4 — рудные поля железомарганцевых конкреций

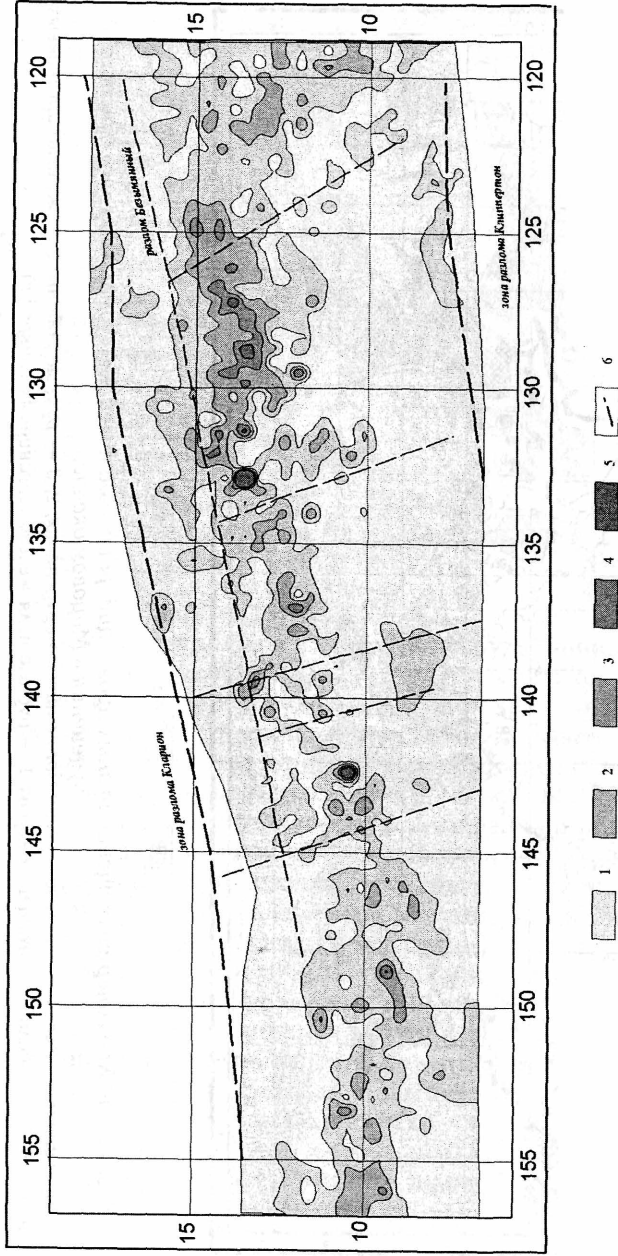


Рис. 10.2.6. Характер изменчивости масштабов рудоности в пределах провинции Кларрион-Клиппертон. Значения весовой концентрации ЖМК, кг/м²: 1 — менее 5; 2 — от 5 до 10; 3 — от 10 до 15; 4 — от 15 до 20; 5 — более 20; 6 — зоны разломов

критической глубины карбонатакопления (КГК), в интервале глубин от 4500 до 5500 м, и связаны с пелагическими глинистыми и кремнисто-глинистыми осадками (провинции Кларрион-Клиппертон, Центрально-Индийская и др.). Менее распространены рудные скопления ЖМК в зоне пелагического биогенного карбонатакопления, хотя в пределах этой зоны известны и высокопродуктивные скопления ЖМК. Примером такого скопления может служить рудное поле Дамантина в Амстердамской котловине Индийского океана, где рудные скопления с высокими весовыми концентрациями ЖМК (до 50 кг/м² и более) ассоциируются с мергельными и карбонатными нанопланктонными и кокколито-фораминиферовыми осадками, карбонатность которых достигает 89 %. В этом случае режим низких скоростей осадконакопления, необходимый для формирования рудных масс, обеспечивается активным характером гидродинамической обстановки в условиях деятельности мощных придонных течений. Здесь необходимо отметить, что конкреционные скопления встречаются и в других структурно-тектонических зонах океана, например на пологих участках склонов срединно-океанических хребтов на глубинах вблизи лизоклина. Однако эти рудные объекты, связанные с мергельными и карбонатными отложениями, характеризуются обычно более низким качеством руд.

Важным фактором, влияющим на условия рудоотложения и перераспределения вещества в абиссальных областях, является литодинамический режим. В общем случае для формирования конкреционных руд благоприятна спокойная литодинамическая обстановка с низкими скоростями седиментации. Зоны активной аккумуляции, как правило, препятствуют процессу рудообразования.

На формирование скоплений ЖМК не оказывают влияние возраст океанической коры и особенности структуры дна регионального характера. Железомарганцевые конкреции, развитые на поверхности дна океана, в подавляющем большинстве имеют плиоцен-четвертичный возраст и встречаются в абиссальных частях Мирового океана практически повсеместно, вне зависимости от возраста коры того или иного региона.

В пределах абиссальных котловин рудные объекты в равной степени могут быть приурочены к региональным депрессиям и поднятиям, отвечающим в рельефе поднятым и опущенным тектоническим блокам. Масштабы рудоносности и вещественный состав конкреционных образований на том или ином участке котловины определяются характером металлогенической зональности провинции, формирующейся под действием сочетания экзогенных и эндогенных факторов.

Размеры и морфология индивидуальных конкреционных скоплений (рудных залежей), а также положение их границ определяются локальными геоморфологическими условиями в сочетании с определенными типами донно-поверхностных осадочных отложений. Главным условием локализации рудных скоплений является субгоризонтальный характер поверхности дна. Железомарганцевые конкреционные руды развиты на участках дна, рельеф которых имеет близкоступной характер поверхности с уклонами до 10°. Тип локального элемента геолого-геоморфологической структуры дна (вершинная поверхность поднятия, днищевая поверхность впадины, террасовидная ступень рельефа или пологие склоны холмов) и мощность осадочного чехла для формирования конкреционного скопления не имеют значения. Формы индивидуальных рудных тел в плане повторяют в общих очертаниях форму соответствующих геоморфологических элементов или их фрагментов, характеризующихся благоприятными для их локализации геолого-геоморфологическими условиями (рис. 10.2.7). Доминирующие формы рудных тел различны в пределах разных провинций: от линейных лентовидных и струйчатых залежей в провинции Клариян-Клиппертон до близких к изометричным гнездовым и плащеобразным в пределах Центрально-Тихоокеанской провинции. На особенности химического состава рудных образований тип локального элемента рельефа также не оказывает влияния. Конкреции залегают на поверхности плиоцен-четвертичных нелитифицированных осадков. С участками обнажения плотных осадочных и магматических пород, чаще всего приуроченными к крутым склонам и уступам, связано формирование железомарганцевых корок, имеющих значительно более низкие содержания марганца, никеля и меди.

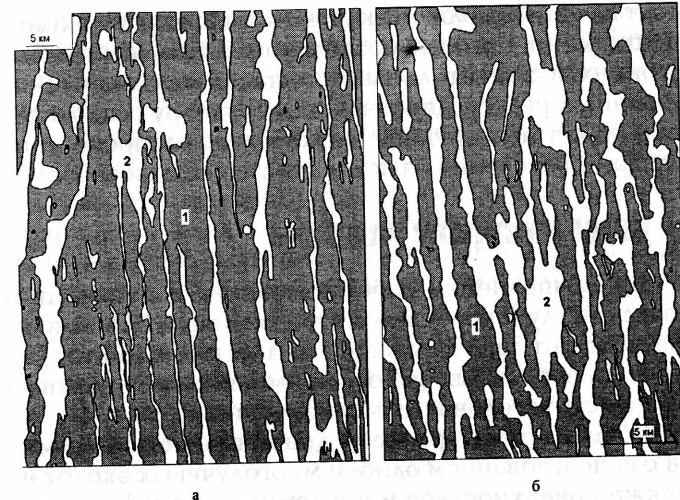


Рис. 10.2.7. Характер локальной структуры конкреционного месторождения провинции Клариян-Клиппертон:
 а — участок развития рудных залежей ленточного типа;
 б — струйчатого типа
 1 — рудные залежи; 2 — безрудные зоны

Таким образом, объекты поисков и разведки железомарганцевых конкреционных руд располагаются в пределах абиссальных котловин, характеризующихся низкими скоростями осадконакопления, на глубинах от 4500 до 5500 м, на участках пологого рельефа, с развитием в верхней части осадочного чехла нелитифицированных отложений глинистого, кремнисто-глинистого и глинисто-кремнистого (реже — мергельного и карбонатного) состава плиоцен-четвертичного возраста.

Таким образом, важнейшими особенностями, определяющими методику проведения геологоразведочных работ на ЖМК, являются: глубоководное залегание скоплений ЖМК (на глубинах океана до 6000 м); площадное размещение полей ЖМК и гигантские размеры потенциально перспективных участков морского дна; контролирующее влияние локальных форм рельефа и структуры осадочного чехла на формирование рудных скоплений.

В связи с этим аппаратно-технический комплекс, используемый для проведения геологоразведочных

работ на ЖМК, должен включать аппаратуру, технику и технологии, которые позволяют изучить на больших глубинах и значительных площадях тектоническое строение и рельеф дна региона, структуру осадочного чехла, масштабы оруденения, характер распределения рудных образований на поверхности дна и их качество.

Методы и инструменты исследований

При выполнении работ, связанных с поисками и разведкой глубоководных месторождений ЖМК, в зависимости от задач, стоящих на той или иной стадии геологоразведочных работ, применяются различные комплексы методов и их модификаций.

1. Для изучения рельефа дна применяется промер дна с использованием одно- и многолучевых эхолотов, а также поверхностное и придонное геоакустическое профилирование, включающее гидролокационную (сонарную) съемку и съемку с использованием акустических профилографов.

Эхолотный промер однолучевыми эхолотами выполняется по профилям при рекогносцировочных и региональных исследованиях на стадии поиска скопелений ЖМК, а также на геологических станциях, в том числе и на стадии разведки. В настоящее время для измерения глубин используются разные модификации штатных судовых эхолотов. Например, в практике ГНЦ «Южморгеология» используется промерный эхолот ПЭЛ-Д на базе компьютера «ADVANTECH» в комплексе с универсальным навигационным модулем.

Промер дна с использованием многолучевых эхолотов обеспечивает сплошную площадную съемку поверхности дна, скрытого многокилометровой толщей воды, с получением цифрового массива данных глубин и амплитуд обратно рассеянного сигнала и изготовлением на их основе кондиционных батиметрических карт соответствующего масштаба, карт сонарного изображения и карт уклонов дна. Конструкция многолучевых эхолотов (Simrad EM – 12, SeaBeam 2000, HydroSweep и др.) предусматривает максимально полную автоматизацию управления процессом сбора данных при минимальной необходимости вмешательства оператора.

В качестве примера может быть приведен многолучевой эхолот EM12S – 120 норвежской фирмы Simrad. Данный эхолот позволяет получать данные о глубине и амплитуде обратно рассеянного акустического сигнала на глубинах от 50 до 11 000 м в полосе захвата шириной от 2 до 3,5 глубин места (в зависимости от гидрологических условий, глубины и сложности рельефа). В районах перспективных на обнаружение месторождений железомарганцевых конкреций, где глубины дна составляют от 4700 до 5200 м, ширина полосы съемки составляет от 3,15 до 3,25 глубины, что обеспечивает межпрофильное расстояние от 11,5 до 12,5 км с перекрытием соседних полос обзора на 15 – 25 %. На таких глубинах промер со скоростью порядка 8 узлов в эквидистантной системе с углом обзора 120° обеспечивает получение кондиционной батиметрической карты масштаба 1:200 000, с сечением изобат через 25 м.

Проведение сплошной съемки многолучевым эхолотом дает возможность получить детальную батиметрическую карту участка, однозначно увязать между собой структуры, выделенные по результатам профильных придонных гидроакустических исследований, выявить на всей площади бесперспективные с геоморфологической точки зрения участки дна, связанные с областями крутых (круче 10°) склонов, и благоприятные для конкреционного оруденения субгоризонтальные поверхности.

Возможности геоакустических методов при изучении глубоководных месторождений полезных ископаемых используются для получения геологической информации по трем основным направлениям:

- картирование морского дна с целью выяснения геолого-геоморфологической обстановки залегания рудных скопелений минерального сырья;
- изучение особенностей строения верхней части разреза осадочного чехла (мощностью до 100 – 150 м);
- выявление мест локализации рудопоявлений, установление формы и размеров рудных залежей и отдельных рудных тел, а также безрудных зон и безрудных окон.

Приповерхностная гидролокационная (сонарная) съемка с использованием низкочастотного гидролока-

тора бокового обзора дальнего действия (ГЛБО ДД типа GLORIA, SeaMARC II, «Океан» и др.) дает общие сведения о строении дна района, обеспечивая получение непрерывной площадной информации о поверхности дна в полосе шириной до 30 км и картирование крупных объектов, имеющих размеры от первых сотен метров до десятков километров (рис. 10.2.8). Сонография гидролокатором дальнего действия выполняется в комплексе с промером дна судовым эхолотом и в отличие от использования многолучевого эхолота не обеспечивает получения цифровых данных по глубинам и амплитудам обратно рассеянного сигнала, поэтому в настоящее время успешно заменяется многолучевым эхолотированием, содержащим сонарные подсистемы.

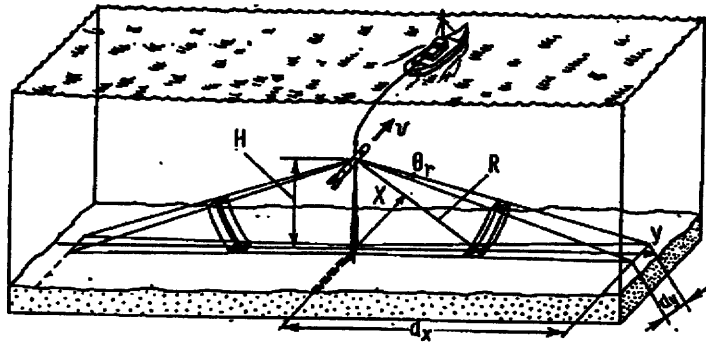


Рис. 10.2.8. Принципиальная схема съемки морского дна методом ГЛБО (гидролокатора бокового обзора): v — скорость судна; H — высота антенны над поверхностью морского дна; R — наклонная дальность; X — линия пути; Y — направление строки сонограммы; d_x, d_y — соответственно продольная и поперечная составляющие разрешающей способности гидролокатора; q — угол раскрытия диаграммы гидролокатора в горизонтальной плоскости («Обработка и интерпретация материалов локации бокового обзора для определения вещественного состава поверхностных образований шельфа». Методические рекомендации. Ленинград, 1989)

Придонная гидроакустическая съемка в комплексе с многолучевым эхолотированием выполняет уточняющую роль вследствие преимуществ придонного эхолота в разрешающей способности, как горизонталь-

ной, так и вертикальной. Глубоководные сонары высокого разрешения, такие как ГИК-6000, МАК-1М (Морской акустический комплекс) и ТОВИ (Towed Ocean Bottom Instrument), обеспечивают съемку в полосе обзора шириной до 1000 м (МАК-1М) и даже до 3000 м на каждый борт (ТОВИ) и масштабы мозаик 1:25 000 — 1:50 000, в которых уверенно прослеживаются объекты размером от нескольких до сотен метров. Примером может служить глубоководный придонный акустический комплекс МАК-1М разработки НИПИОкеангеофизика, который в своем составе содержит двухсторонний гидролокатор бокового обзора средней дальности (ГЛБО СД), двухсторонний гидролокатор бокового обзора высокого разрешения (ГЛБО ВР) — с разрешением в среднем около 1 м, акустический профилограф (АП), освещающий осадочный разрез мощностью до 150 м вдоль линии профиля, эхолот «вниз» и датчики давления — для определения глубины дна, и позволяет выявить локальные особенности батиметрии и геоморфологии месторождения.

2. Для изучения тектоники региона используются гидромагнитная и гравиметрическая съемки, в результате которых получают карты аномалий силы тяжести в различных редуциях и аномального магнитного поля. На основе интерпретации этих материалов может быть осуществлено районирование изучаемой площади по характеру потенциальных полей, мощности и возраста фундамента, определена мощность земной коры, выделены отдельные тектонические блоки. Полученные геофизические данные позволяют выделять участки локального вулканизма, зоны разломов, тектонической активизации и т. п. Данные методы применяются на стадии поисков месторождений ЖМК.

3. Для изучения осадочного разреза применяются сейсмоакустика, придонное геоакустическое профилирование, геологическое опробование.

Многоканальная цифровая сейсмоакустическая съемка применяется в качестве основного метода изучения осадочного чехла, суммарная мощность пород которого в областях распространения железомарганцевых конкреций составляет обычно от 100 до 500 м. На основе данных сейсмоакустической съемки произ-

водятся расчленение осадочного комплекса по сейсмостратиграфическим признакам на отдельные т. н. «сейсмокомплексы» (интервалы осадочного разреза с различными характеристиками волнового поля) и изучение особенностей их пространственного распространения, а также выделение верхнего акустически прозрачного слоя, с которым ассоциируют железомарганцевые конкреции, и определение его мощности.

Более детальное расчленение верхнего слоя осадочного чехла обеспечивает применение упомянутых выше **высокоразрешающих профилографов** (разрешающая способность 0,5–1,0 м), входящих в состав придонных геоакустических комплексов, таких как МАК-1М. Их использование позволяет детально изучить структуру осадочного разреза до глубины 150 м и выделить участки, благоприятные в стратиграфическом и литологическом отношении для развития ЖМК.

Донное опробование на геологических станциях призвано решать целый спектр задач, в том числе заверку сейсмокомплексов, выделенных на основе сейсмо- и геоакустических исследований. Геологическое опробование проводится с использованием пробоотборников грейферного (дочерпатели «Океан-0,25», ДГ-1,5 и др.) или коробчатого типа (например, КП-0,15–1,5; КП-2,5 и др.), а также грунтовыми трубками различных конструкций. Отбор проб донных осадков позволяет выяснить литологический состав единицы разреза, соответствующей тому или иному сейсмокомплексу, и его возрастную привязку. При помощи пробоотборников грейферного и коробчатого типов изучаются отложения нескольких верхних дециметров разреза, прямоточные грунтовые гравитационные трубки (например, АХК-005) позволяют изучать несколько верхних метров (обычно до 5 м) донных осадков. Существуют комбинированные пробоотборники, объединяющие в разных модификациях и сочетаниях дочерпатель, грунтовую трубку и трал.

4. Основной задачей работ при поисках и разведке месторождений ЖМК является *выяснение масштабов оруденения изучаемой площади и изучение изменчивости количественных и качественных его параметров*. Для этого используются как *контактные* (гео-

логическое опробование), так и *дистанционные* (сонография, фотографирование морского дна, в т. ч. фототелепрофилирование) методы.

Геологическое опробование дочерпателями и пробоотборниками коробчатого типа, обычно оснащенных глубоководными фотоустановками (типа ГФУ-6–8), позволяет определять площадную и весовую концентрации железомарганцевых руд в точке опробования, их состав и свойства, а кроме того — вещественный состав и физико-механические свойства донных грунтов, информация о которых важна для разработки и последующей эксплуатации добычных агрегатов с соответствующими параметрами. Разработаны специальные пробоотборники для получения крупнообъемных проб ЖМК с целью определения технологических свойств руды (например, трал типа «Сигсби»).

К дистанционным методам определения масштабов конкреционности относятся локация бокового обзора (сонография), фотографирование на станциях и непрерывное фототелепрофилирование. Материалы придонной съемки гидролокатором бокового обзора, как и карты интенсивности обратно рассеянного сигнала, построенные по данным многолучевого эхолота, дают важную информацию для непосредственного решения задач, связанных с выяснением структуры конкреционного месторождения. Известно наличие связи между масштабами конкреционного оруденения дна и интенсивностью обратно рассеянного сигнала, однако оценка масштабов оруденения донной поверхности по сонарным данным имеет вероятностный характер и может проводиться только на качественном уровне, т. е. на уровне выделения участков практического отсутствия выделений конкреций, рассеянного залегания и скоплений повышенной плотности.

Данные **непрерывного придонного фотопрофилирования** относятся к разряду прямых методов оценки масштабов конкреционного оруденения на поверхности дна. Профилирование осуществляется глубоководным придонным фотокомплексом (например, различные модификации фотокомплексов «Мир» или «Нептун») при движении судна со скоростью 1–2 узла. Фотосъемка производится автоматически через посто-

янный интервал времени (от 15 до 40 с, что в зависимости от скорости движения аппарата соответствует расстоянию от 10 до 30 м) на заданном отстоянии от дна (первые метры), площадь кадра обычно составляет от 2 до 6 – 8 м². Современные глубоководные фотокомплексы, оснащенные цифровыми фотокамерами, осветительными приборами, эхолотами «вверх» и «вниз», а также маяками-ответчиками, позволяют получать со строго определенного отстояния от дна координированные, т. е. с координатной привязкой высокой точности, фотокадры высокого качества, соответствующие постоянной площади фотографируемого участка дна.

Основной геологической задачей непрерывного фотопрофилеирования является определение площадной концентрации (процента покрытия дна) рудными образованиями. Кроме этого, выясняются их размеры, форма (т. е. «фототип» рудных образований), характер залегания и степень «присыпанности» донным осадочным материалом (вернее, степень погруженности конкреций в донный осадок) (рис. 10.2.2, 10.2.3). Кроме того, по материалам данного метода проводится анализ литодинамической обстановки, особенностей мезорельефа дна и обнаружение донных препятствий литологического типа.

Телевизионный осмотр дна, выполняемый в реальном времени съемки, позволяет выполнять те же наблюдения, что и дискретное фотографирование по профилям. Преимущества телесъемки состоят в непрерывности наблюдений, что позволяет отследить объекты, попавшие в межкадровое пространство фотопрофилей.

Весьма информативными являются материалы фототелепрофилеирования, используемого в варианте совмещения с придонной гидроакустикой (съемка комплексом типа «Абиссаль» или «ORETECH»). По сравнению с обычным фототелепрофилеированием эти данные обладают очень важным преимуществом: они исключительно точно характеризуют геоморфологические условия локализации рудных скоплений. Это обстоятельство позволяет не только выявить закономерности размещения рудных скоплений на донной поверхности, но и значительно облегчить задачу их оконтуривания.

Поиски месторождений железомарганцевых конкреций

Цель поисковых работ. Поисковые работы проводятся на площади рудной провинции (абиссальной котловины или ее фрагмента). Основной целью поисковых работ является исследование геологического строения рудной провинции ЖМК и выделение потенциального месторождения железомарганцевых конкреций.

Для достижения этой цели решаются следующие основные задачи:

- изучение климатических, океанографических, гидрологических и других природных условий исследуемой акватории;
- выявление общих особенностей батиметрического, геоморфологического, геологического, литологического строения дна исследуемого района;
- изучение масштабов и характера распространения ЖМК в исследуемом районе;
- изучение вещественного состава конкреций;
- предварительное изучение технологических свойств конкреций по результатам испытаний минералого-технологических и малых технологических проб;
- изучение физико-механических свойств конкреций и вмещающих их донных осадков;
- оценка прогнозных ресурсов ЖМК и заключенных в них компонентов по категории P₃ по провинции в целом, по категории P₂ — по рудному полю и категории P₁ — на участках детализации;
- сбор исходных данных для обоснования оценочных кондиций и составления технико-экономических соотношений (ТЭС) о целесообразности постановки поисково-разведочных (оценочных) работ;
- выбор участка Международного района морского дна, в пределах которого локализовано рудное скопление, которое по запасам и качеству руд удовлетворяет требованиям, предъявляемым к месторождению ЖМК на условиях, определяемых МОД ООН;
- обоснование рекомендаций по очередности проведения разведочных работ на отдельных участках месторождения.

Поисковые предпосылки. Поисковые предпосылки обнаружения промышленно значимых скоплений ЖМК особенно важны при поисковых работах. Они определяются основными закономерностями размещения скоплений ЖМК, рассмотренными выше. Резюмируем их.

Тектонические предпосылки. Промышленно значимые скопления ЖМК располагаются в пределах абиссальных котловин или их крупных, однородных в структурно-тектоническом отношении частей. Благоприятной предпосылкой является относительная близость к тектоническим разломам, по которым возможно поступление рудного вещества эндогенного и гальмиролитического происхождения.

Батиметрические предпосылки. Батиметрический интервал залегания промышленно значимых скоплений ЖМК обычно располагается ниже уровня КГК. Известны отдельные, уникальные скопления (типа поля Диамантина) на глубинах, близких к лизоклину.

Геоморфологические предпосылки. Скопления ЖМК формируются на выположенных поверхностях рельефа с уклонами дна не более 10° .

Литофациальные предпосылки.

- удаленность от источников терригенного материала;
- приуроченность к зонам низкой биологической продуктивности водной толщи;
- развитие в изучаемом регионе пелагических глинистых и кремнисто-глинистых осадков.

Литодинамические предпосылки. Благоприятной является обстановка минимального осадконакопления в условиях спокойного литодинамического режима и отсутствия повышенной седиментации, связанной со склоновыми процессами, областями разгрузки придонных течений и т. д.

Гидродинамические предпосылки. Благоприятная обстановка для формирования скоплений руд может быть обеспечена за счет деятельности придонных течений, препятствующих накоплению осадков.

Поисковые признаки. Комплекс поисковых признаков наиболее полно разработан для хорошо изученных конкреционных месторождений провинции Клариян-

Клиппертон по результатам многолетних исследований площади этой провинции. К их числу относятся:

- наличие субгоризонтальных участков рельефа дна, независимо от типа локального геоморфологического элемента (вершинные поверхности поднятий, днищевые поверхности впадин, поверхности террасовидных ступеней рельефа);
- развитие в верхней части осадочного разреза этих участков глинистых и кремнисто-глинистых монтмориллонит-иллитовых осадков плиоцен-голоценового возраста;
- отсутствие проявлений донной эрозии руслового и площадного характера.

Комплекс методов, применяемый на поисковой стадии. На поисковой стадии основной комплекс работ осуществляется дистанционными методами с использованием приповерхностных аппаратов по сети профилей. Как правило, наблюдения производятся по системе параллельных профилей через 12–24 км при скорости судна 6–8 узлов. Выбор азимута профилей производится с учетом предполагаемого простираения элементов рельефа дна (используются батиметрические карты масштаба 1:5 000 000 – 1:10 000 000), осуществляется система увязочных профилей. Комплекс работ, выполняемых на поисковой стадии, должен обеспечить составление графических материалов масштаба 1:2 000 000.

В комплекс работ входят:

- глубоководный промер одно- и многолучевыми эхолотами;
- гравимагнитометрическая съемка;
- многоканальная цифровая сейсмоакустическая съемка.

Опробование выполняется в пределах перспективных рудных зон, выделенных основным комплексом работ, с целью подтверждения их перспективности, оценки плотности залегания конкреций, определения содержаний основных компонентов, типов и свойств осадков и т. д. Опробование выполняется дночерпателем или коробчатым пробоотборником по регулярной или логической сети (1 станция на 100 км² площади) с получением фотографий морского дна.

По отдельным профилям, пересекающим наиболее перспективные рудные зоны, целесообразно осуществлять придонную гидролокационную съемку и непрерывное фототелепрофилирование, предпочтительно в совмещенном варианте комплексом типа «Абиссаль». Количество и объемы профилей определяются сложностью строения рудных зон.

Кроме вышперечисленных на поисковой стадии целесообразно выполнение следующих видов работ:

- инженерно-геологическое опробование с использованием прямооточных (гравитационных) трубок различного диаметра и коробчатых пробоотборников (осуществляется на 10 % станций пробоотбора). Каждая станция инженерно-геологического опробования должна иметь навигационную, геоморфологическую, геологическую привязку (координаты, характеристику морфологических элементов рельефа, тип донных осадков и т. д.);
- технологическое опробование с целью изучения технологических свойств руд на минералого-технологических и малых технологических пробах. Количество станций траления определяется природными типами ЖМК, выделяемыми по данным опробования. Разрабатывается предварительная геолого-технологическая типизация ЖМК, и намечаются технологические (промышленные) типы и сорта ЖМК.

Регистрация и экспресс-обработка геолого-геофизической информации, получаемой в результате комплекса работ, осуществляется на борту геологоразведочного судна в автоматизированном режиме.

На поисковой стадии по результатам рейсов составляются отчеты о геологических исследованиях (с обоснованием их надежности) и оценке ресурсов по категории P_2 (на участках детализационных работ — по категории P_1), с приложением информационной базы геолого-геофизических и геохимических данных и комплекта графических документов масштаба 1:2 000 000. В комплект графических документов включаются следующие материалы:

1. Обзорная карта района работ масштаба 1:5 000 000.
2. Карта фактического материала.

3. Карта рельефа дна.
4. Структурно-геоморфологическая карта.
5. Геологическая карта района работ с сейсмостратиграфической колонкой и разрезом.
6. Карта мощности осадочного чехла.
7. Схема рельефа акустического фундамента.
8. Карта донных осадков и их физико-механических свойств.
9. Сейсмоакустические разрезы по профилям.
10. Карты графиков и изодинам аномального магнитного поля.
11. Карта конкрециенности.
12. Карты распределения в железомарганцевых конкрециях меди, никеля, кобальта, марганца и железа.
13. Схемы оценки ресурсов железомарганцевых конкреций по категории P_2 и металлов в них масштаба 1:2 000 000, а на участках детализаций по категории P_1 — масштаба 1:200 000.
14. Интерпретационные профили, составленные по данным фототелепрофилирования.
15. Альбомы материалов по сейсмоакустическим исследованиям на профилях.

Итоговыми документами для поисковой стадии являются:

- отчет о геологических исследованиях района работ с оценкой ресурсов ЖМК и рудных компонентов по категории P_2 по всему району и категории P_1 — на детализационных участках;
- технико-экономические соображения (ТЭС) о возможном промышленном значении выделенного потенциального месторождения ЖМК с оценочными условиями.

Итогом поисковых работ является выявление потенциального месторождения ЖМК на изученной площади провинции, подача заявки в Международный орган по морскому дну при ООН и получение сертификата на право проведения работ на выделенном лицензионном участке.

В пределах потенциального месторождения ЖМК, т. е. выделенного Международным органом участка дна, проводятся геолого-разведочные работы **поисково-разведочной (оценочной) стадии**, главной целью которых

является оконтуривание месторождения ЖМК с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 по месторождению в целом и подсчет запасов по категориям C_1 и C_2 на участках детализации, выяснение среднего качества минерального сырья, общая оценка его технологических свойств и горно-геологических условий эксплуатации для решения вопросов о целесообразности и очередности проведения разведочных работ на отдельных участках месторождения.

На поисково-разведочной (оценочной) стадии решаются следующие задачи:

- уточнение сведений по климатическим, океанографическим, гидрологическим и другим природным условиям исследуемой акватории;
- уточнение батиметрических и геолого-структурных особенностей строения месторождения, определяющих основные закономерности пространственного размещения конкреционных залежей;
- оконтуривание в плане и изучение изменчивости геолого-промышленных параметров наиболее крупных по площади рудных залежей по их простиранию и ширине;
- статистическая оценка участков непрерывного распространения конкреций и безконкреционных площадей;
- оценка среднего качества конкреций, их вещественного и минерального состава по месторождению в целом и отдельным залежам;
- выявление возможных технологических типов или сортов конкреций, их примерных количественных соотношений и главных особенностей технологической переработки с составлением баланса распределения попутных полезных компонентов и вредных примесей по продуктам основного производства;
- изучение в общих чертах физико-механических свойств конкреций и вмещающих их донных осадков по месторождению в целом и на площади, намеченной к первоочередной разведке;
- выборочная оценка условий залегания конкреций и характеристик изменчивости геолого-промышленных параметров в пределах полигонов, предназначенных для опытной добычи;

- оценка общих горно-геологических условий эксплуатации месторождения с их детализацией на полигонах опытной добычи;
- сопоставление данных поисково-разведочных (оценочных) работ и результатов опытной добычи;
- разработка мероприятий по охране окружающей среды;
- составление технико-экономического доклада (ТЭД) о возможном промышленном значении месторождения и целесообразности проведения разведочных работ;
- составление отчета по результатам работ с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 по месторождению в целом и подсчет запасов по категориям C_1 и C_2 на участках детализации.

Комплекс работ, проводимых на поисково-разведочной (оценочной) стадии, должен обеспечить составление графических материалов масштаба 1:200 000. Среднеквадратическая погрешность (СКП) определения плановых географических координат объектов геологоразведочного наблюдения не должна превышать $\pm 150 - 200$ м, на участках детализации — ± 50 м.

Основной комплекс работ на этой стадии осуществляется с использованием буксируемых глубоководных аппаратов по системе профилей через 6–12 км при скорости судна 1–2 узла. Рациональный комплекс исследований включает:

- батиметрическую съемку с использованием многолучевых эхолотов;
- придонную гидролокационную (сонарную) съемку с использованием гидролокаторов бокового обзора;
- придонную акустическую съемку с использованием акустических профилографов;
- фототелевизионное профилирование с использованием фотокомплексов с дискретностью съемки 15–30 с.

Целесообразно использование геологоразведочных комплексов, позволяющих вести совместную фототелевизионную, гидролокационную и другие виды съемки.

Донное опробование проводится в пределах контура месторождения, выделенного дистанционными ме-

тодами, по регулярной или логической сети (средняя плотность — 1 станция на 36 км² площади) с получением фотографий морского дна. Заложение геологических станций проводится с учетом данных дистанционных методов (геоакустической съемки и непрерывного фототелепрофилирования). Донное опробование выполняется дночерпателем или коробчатым пробоотборником при удержании судна в заданной точке.

На поисково-разведочной стадии осуществляется следующий комплекс исследований:

- инженерно-геологическое опробование на всех типах осадков (30–40 станций на площади исследования);
- технологическое опробование путем отбора малых технологических и лабораторных проб;
- набортные аналитические работы с целью определения вещественного состава железомарганцевых конкреций и донных осадков.

Итоговыми документами на стадии поисково-разведочных (оценочных) работ являются:

- отчет о геологических исследованиях района работ с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 по месторождению в целом и подсчетом запасов по категориям C_1 и C_2 на участках детализации;
- технико-экономический доклад (ТЭД) о целесообразности постановки разведочных работ с расчетом временных кондиций.

Разведка месторождений железомарганцевых конкреций

Цель и задачи разведочных работ. Разведочные работы на месторождении ЖМК производятся в целях выяснения его промышленного значения, т. е. определения количества и качества заключенных в нем руд, а также для выяснения природных и экономических условий, в которых находится месторождение. Главной целью разведочных работ является уточнение сведений о запасах, качестве конкреций, их технологических свойствах и горно-геологических условиях эксплуатации месторождения по его отдельным конкрециеносным участкам или залежам с полнотой и достоверностью,

достаточной для проектирования добычного предприятия и передачи месторождения в промышленное освоение.

На разведочной стадии решаются следующие задачи:

- определение климатических, океанографических, гидрологических и других природных условий в пределах месторождения ЖМК с полнотой, обеспечивающей проектирование добычного предприятия и ведение эксплуатационных работ;
- определение глубин океана и рельефа океанического дна отдельных конкреционных залежей с полнотой, достаточной для проектирования добычных систем;
- полное изучение особенностей геологического строения месторождения ЖМК;
- установление структурных, геоморфологических, литологических и других факторов, определяющих пространственное размещение и условия локализации отдельных конкреционных залежей;
- выявление контуров, условий залегания, особенностей внутреннего строения, характеристик изменчивости геолого-промышленных параметров и качества конкреций отдельных конкреционных залежей по их простиранию, ширине и мощности;
- детальное изучение качества конкреций, их вещественного и минерального состава в пределах отдельных конкреционных залежей;
- обоснование схемы металлургической переработки ЖМК, обеспечивающей комплексное извлечение полезных компонентов по каждому технологическому типу или сорту конкреций с проведением технологических испытаний в полупромышленном, а при необходимости и в промышленном масштабе;
- детальное изучение горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождения ЖМК;
- совершенствование добычной техники и уточнение оценки горно-технических особенностей разработки месторождения в процессе опытной добычи;
- натурное изучение параметров загрязнения океанической среды при проведении опытной добычи

и обоснование мероприятий по ее охране при эксплуатации месторождения ЖМК;

- составление отчета по результатам разведочных работ с подсчетом запасов конкреций по категориям C_1 и C_2 и оценкой их прогнозных ресурсов по категории P_1 в соотношениях, предусмотренных нормативными документами;
- составление технико-экономического обоснования (ТЭО) о целесообразности освоения месторождения и разработка постоянных кондиций;
- утверждение запасов месторождения ЖМК и металлов, содержащихся в них и имеющих промышленное значение, в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов РФ — ГКЗ МПР РФ.

Методика проведения разведочных работ на ЖМК и комплекс применяемых на этой стадии методов определяется особенностями структуры конкреционных месторождений.

Структура месторождений железомарганцевых конкреций провинции является однотипной на всей ее площади и представляет собой систему рудных залежей, имеющих удлиненную (лентовидную, полосовидную, струйчатую) форму и вытянутых субпараллельно друг другу в субмеридиональном направлении. Подчиненное распространение имеют скопления изометричной формы, связанные, в основном, с участками развития вулканических гор и межгорных впадин (залежи гнездового типа), а также плащеобразные залежи, развитые на вершинных поверхностях региональных поднятий. Размеры подавляющего большинства рудных залежей в поперечном сечении колеблются от первых сотен метров до первых километров, при протяженности до 100 км и более. Площади залежей составляют десятки и сотни квадратных километров (рис. 10.2.9). Границы рудных тел имеют естественный характер (бровки и подножия крутых склонов и уступов, границы выходов плотных осадочных или магматических пород).

Несмотря на то что главные элементы структуры месторождений ЖМК — индивидуальные рудные залежи — имеют относительно простое геологическое строение, месторождения в целом характеризуются сложной

структурой (рис. 10.2.10). Это связано в первую очередь с тем, что соседние рудные залежи, как правило, занимают различное батиметрическое положение с перепадом глубин от первых десятков до первых сотен метров. Залежи разделены безрудными зонами, геоморфологически представляющими собой крутые (до 45° и более) склоны и уступы соответствующей высоты. В пределах склонов обнажаются уплотненные осадочные образования глинистого и карбонатного состава, а также базальты фундамента. Внутреннее строение рудных залежей характеризуется достаточно широким развитием безрудных «окон», приуроченных к зонам площадной эрозии, эрозийным промоинам и воронкам, изолированным выходам базальтов и уплотненных осадочных пород, участкам с повышенными (более 10°) углами наклона донной поверхности и т. д. В связи с этим месторождения железомарганцевых конкреций в целом характеризуются сложными горно-геологическими условиями разработки.

Комплекс методов, применяемый на разведочной стадии. Опыт многолетних исследований ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» показал, что наиболее эффективным типом геологоразведочной системы, применяемой при изучении месторождений ЖМК, является ее комбинированный вариант, в основе

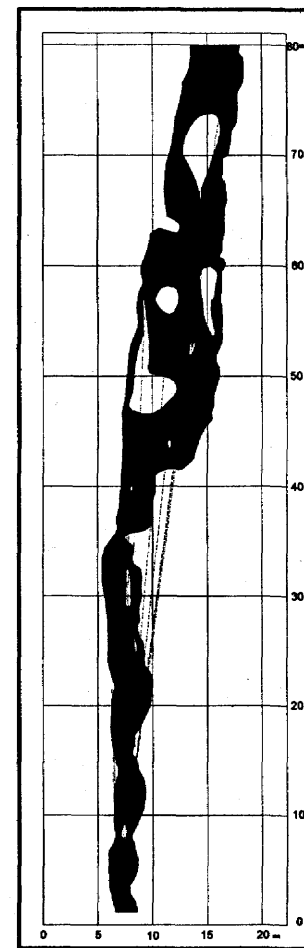


Рис. 10.2.9. Морфология, внутреннее строение и ресурсы типичной рудной залежи железомарганцевых конкреций



Рис. 10.2.10. Пример геоморфологического строения одного из месторождений провинции Кларсон-Клиппертон на локальном уровне:

- 1 — долиноподобные впадины; 2 — валообразные поднятия;
- 3 — области крутых склонов и обрывов; 4 — линии, указывающие направление склона; 5 — оси: а — поднятий, б — впадин

которого лежит комплексное использование профильных дистанционных (картирование поверхности дна, оконтуривание рудных залежей и т. п.) и точечных контактных (геологическое опробование) методов исследований. Состав и параметры комплекса технических средств, применяемого на разведочной стадии ГРР, должны обеспечивать решение задач, стоящих на этой

стадии. В первую очередь это получение однозначной информации о морфологии и размерах рудных залежей ЖМК, а также элементов их внутренней структуры, опробование залежей, выяснение особенностей горно-геологических условий месторождения ЖМК, изучение строения разреза осадочного чехла с оценкой инженерно-геологических характеристик грунтов и т. д., при соответствующем навигационном обеспечении работ.

Комплекс работ на разведочной стадии должен обеспечить составление графических материалов масштаба 1:50 000; СКП определения относительных плановых координат объектов геологоразведочного наблюдения не должна превышать ± 50 м. Проведение дистанционных методов исследования должно опережать донное опробование.

В настоящее время собственно разведочные работы на площади Российского месторождения ЖМК еще не проводились. Подготовка к выполнению этих работ осуществляется в рамках опытно-методических работ масштаба 1:500 000 на отдельных полигонах детальных исследований, локализованных на площадях развития рудных залежей разного типа. Комплекс этих работ включает промер дна приповерхностным многолучевым эхолотом, геоакустическую съемку с использованием глубоководного придонного акустического комплекса МАК – 1М, непрерывное фототелевизионное профилирование и донное опробование. По итогам этих работ разрабатываются рекомендации по методике разведочных работ на ЖМК. Эти рекомендации сводятся к следующему.

На разведочной стадии основной комплекс работ осуществляется буксируемыми или автономными глубоководными аппаратурно-техническими средствами по системе взаимоувязанных профилей. Выбор азимутов профилей планируется с учетом генерального простирания рудных залежей, карты рельефа дна и гидрометеорологической обстановки.

Выяснено, что применяемый в настоящее время и апробированный на детальных опытно-методических работах масштаба 1:500 000 комплекс методов и технических средств не полностью удовлетворяет требованиям разведочной стадии работ. Так, использование при-

поверхностных многолучевых эхолотов для решения задач батиметрического картирования на разведочной стадии работ (должны быть выявлены все элементы рельефа, величина уклонов дна в пределах которых превышает 6° при относительном перепаде глубин 20 см и более) не обеспечивает выполнения требований разведки. Решение этой проблемы связывается с применением придонных батиметрических систем. Для получения кондиционной батиметрической (топографической) основы масштаба 1:50 000 рекомендуется использование придонного многолучевого эхолота, скомплексированного с широкополосным акустическим профилографом. Ширина полосы обзора должна составлять не менее 250 м. Съёмка должна осуществляться с 20 %-ным перекрытием соседних полос, т. е. с межпрофильным расстоянием 200 м.

Для наиболее эффективного решения задачи по оконтуриванию рекомендуется применение двухзвенного комплекса, включающего фототелекомплекс и высокоразрешающий гидролокатор бокового обзора с полосой дистанционирования 1000 м. Съёмка должна осуществляться с 50 %-ным перекрытием соседних полос, т. е. с межпрофильным расстоянием 1000 м.

Сети геологического опробования планируются индивидуально для конкретных рудных залежей с учетом предварительно полученных результатов дистанционных исследований (фототелепрофилеирования и сонарной съёмки). Станции отрабатываются пробоотборником коробчатого типа в комплексе с фотоустановкой. С учетом характера структуры месторождения и наличием выявленной зональной анизотропии распределения количественных характеристик рудоносности внутри индивидуальных рудных залежей, опробование рекомендуется осуществлять вдоль линий профилей, ориентированных вкрест простирания рудных залежей. Расстояние между профилями опробования (в продольном по отношению к простиранию залежи направлении) допускается в интервале от 2 до 4 км. Шаг опробования в поперечном к простиранию рудной залежи направлении (в пределах профиля) определяется для каждой залежи индивидуально, исходя из требований статистической представительности, предъявляемых к

объему выборки (от 20 до 30 станций на площади залежи), но в любом случае должен превышать 250 м.

Регистрация и экспресс-обработка геолого-геофизической информации, получаемой в результате комплекса работ, осуществляется на борту геологоразведочного судна в автоматизированном режиме. Набортные аналитические работы с целью определения основных рудных компонентов железомарганцевых конкреций выполняются на борту судна с точностью, соответствующей III категории.

На стадии разведочных работ должны быть разработаны мероприятия по соблюдению действующих международно-правовых документов в области охраны окружающей среды.

На стадии разведочных работ составляются отчеты о геологических результатах, подсчет запасов по категории C_1 и частично — по C_2 , выявленных в результате разведки месторождения, с приложением информационной базы геолого-геофизических и геохимических данных и составлением комплекта графических материалов масштаба 1:50 000. В итоговый комплект материалов входят:

1. Карта фактического материала.
2. Батиметрическая карта.
3. Геоморфологическая карта.
4. Геологическая карта месторождения с рельефом дна и геологические разрезы к ней.
5. Карта донных осадков и их физико-механических свойств.
6. Карта изопакит верхних горизонтов осадочного чехла.
7. Карта конкрециенности (с указанием промышленных типов и сортов железомарганцевых конкреций).
8. Карта горно-геологических и инженерно-геологических условий с указанием препятствий, представляющих опасность для работы агрегата сбора конкреций.
9. Планы подсчета запасов конкреций и содержащихся в них металлов по категориям C_1 и C_2 .
10. Схема оценки ресурсов железомарганцевых конкреций и металлов в них по категории P_1 .

Подсчет запасов руды и основных компонентов, а также попутных компонентов, имеющих промышленное значение, по категориям C_1 и C_2 производится на разведанных площадях, а также в пределах оцененных площадей на участках детализации по результатам разведочных и поисково-разведочных (оценочных) работ в соотношениях, предусмотренных «Положением по подсчету и учету запасов и прогнозных ресурсов железомарганцевых конкреций Мирового океана».

Подсчет запасов железомарганцевых конкреций и их основных рудных компонентов производится в пределах контура, определенного в соответствии с требованиями кондиций (предельных значений натуральных показателей).

Контур запасов категории C_1 определяются в соответствии с утвержденными кондициями или (при оперативном подсчете) с принятыми оценочными параметрами на основе данных дистанционных исследований и отбора проб без использования экстраполяции.

Контур запасов категории C_2 определяются в соответствии с утвержденными кондициями или (при оперативном подсчете) с принятыми оценочными параметрами на основе данных дистанционных исследований и отбора проб с использованием геологически и геоморфологически обоснованной экстраполяции.

Подсчет запасов руды выполняется методом геологических блоков.

Оценка площадей подсчетных блоков производится средствами математического обеспечения компьютерной картографии.

Расчет среднего значения плотности залегания (весовой концентрации) конкреций во влажной и сухой массе в пределах подсчетного контура производится по станциям опробования, входящим в контур подсчетного блока, методом среднего арифметического.

Расчет средних содержаний металлов в ЖМК в подсчетном блоке производится методом средневзвешенного на значение плотности залегания (весовой концентрации) сухих конкреций.

При подсчете запасов промышленных категорий не применяются поправочные коэффициенты (коэффициент рудоносности), что обусловлено плотностью раз-

дочной сети, позволяющей достаточно детально оконтурить рудные участки и выделить безрудные площади.

В том случае, если подсчетный блок представляет собой группу рудных залежей, запасы руды по блоку в целом определяются суммированием запасов по всем входящим в его состав залежам.

Запасы основных рудных компонентов по подсчетному блоку в целом определяются суммированием запасов соответствующих рудных компонентов по всем входящим в его состав рудным залежам.

Итоговыми документами на стадии разведочных работ являются:

- отчет с подсчетом запасов по категориям C_1 и C_2 и оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 в соотношениях, предусмотренных нормативными документами для железомарганцевых конкреций;
- технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных кондиций на железомарганцевые конкреции, позволяющее обеспечить комплексную геолого-экономическую оценку месторождения ЖМК, создаваемое по специальному проекту.

10.3. Кобальтоносные железомарганцевые корки подводных поднятий

Геологическое строение месторождений корок

Железомарганцевые корки — сплошные покровы гидроксидов железа и марганца, облегающие выходы коренных пород, слагающих поверхность морского дна. Мощность корок может составлять от нескольких миллиметров до 15–17 сантиметров. Наибольший промышленный интерес в них представляют высокие содержания кобальта — от 0,5 до 0,8 %. Вероятными основными полезными компонентами следует также считать марганец (содержания 20–23 %) и никель (0,4–0,6 %). Среди возможных попутных компонентов в первую очередь называют платину, редкие земли, молибден, а также талий, теллур, титан и некоторые другие.

Распространение. Железомарганцевые корки развиты преимущественно в пределах подводных подня-

тий и обнаружены во всех океанах, включая Северный Ледовитый. Как проявление железомарганцевой минерализации они известны в самых различных обстановках — от прибрежных до глубоководных, включая желоба. Однако как потенциальное полезное ископаемое корки развиты не столь широко. Согласно современным представлениям наиболее перспективными объектами в океане на предмет обнаружения богатых рудных полей кобальтоносных железомарганцевых корок (КМК) являются подводные горы мелового возраста, вершины которых расположены не глубже, чем в интервале 1400 — 1600 м. Несмотря на то что в океанах насчитывается более 7000 подводных гор, районов, удовлетворяющих заданному требованию не так уж много. К ним в первую очередь относятся поднятия западной части Тихого океана — Маркус-Уэйк, Уэйк-Неккер, Маршалловых островов и некоторые другие (рис. 10.3.1). Поскольку значительная часть этих площадей находится в пределах эксклюзивных экономических зон островных государств, площадь перспективных районов еще более сокращается. Помимо уже названных следует упомянуть о Магеллановых горах, поднятии Огасавара, а также горах Композиторов, расположенных к северу от Гавайского архипелага. Таким образом, район проведения поисков изначально может быть выявлен на основании литературных источников.

Рельеф и геологические структуры. Рудные поля кобальтоносных железомарганцевых корок приурочены как к отдельно стоящим подводным горам, так и сгруппированным в вулканотектонические массивы (рис. 10.3.2). Среди подводных гор выделяются гайоты — горы с плоской платообразной вершиной предположительно абразионного происхождения. Профиль склонов в общем случае выпукло-вогнутый. Склоны часто осложнены отрогами, сателлитными горными постройками, многочисленными мезоформами, ориентированными как вдоль, так и вкрест направления склонов, — уступами, грядами, ложбинами и другими.

В строении меловых подводных гор выделяется несколько структурных ярусов. Основания гайотов (пьедестал) сложены вулканическими породами преимущественно базальтового состава нормальной щелочности.

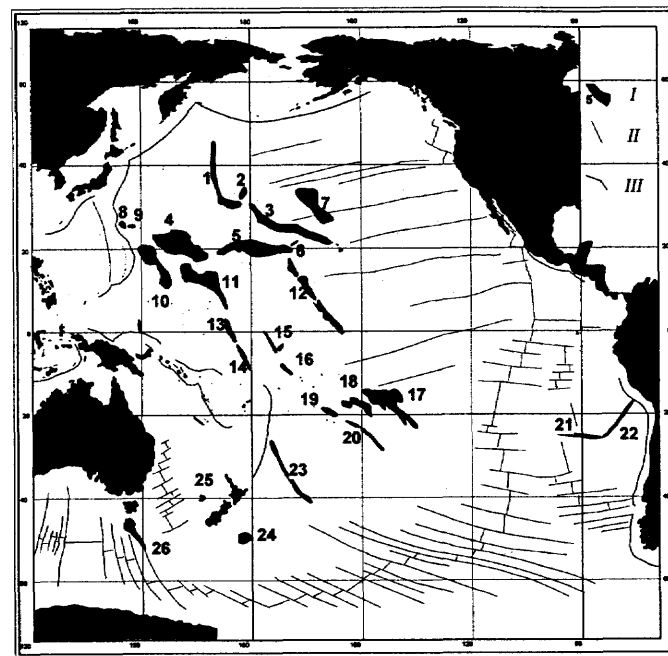


Рис. 10.3.1. Схема расположения рудных полей кобальто-марганцевых корок в Тихом океане.

Условные обозначения:

- I — поля КМК и их номер: 1 — Императорского (Северо-Западного) хребта; 2 — возвышенности Хесса; 3 — Гавайского хребта; 4 — Маркус-Уэйк; 5 — Миднацифик (Уэйк-Неккер); 6 — хребта Неккер; 7 — гор Музыкантов; 8 — Огасавара; 9 — Михельсона; 10 — Магеллановых гор; 11 — Маршалловых островов; 12 — островов Лайн; 13 — Гилберта; 14 — Тувалу; 15 — Хауленд-Бейкер-Феникс; 16 — Токелау; 17 — Туамоту; 18 — Общества; 19 — Южного Кука; 20 — Тубуаи; 21 — Сала-и-Гомес; 22 — Наска; 23 — Луисвилл; 24 — Ново-Зеландского плато; 25 — плато Челленджер; 26 — Южно-Тасманийское.
- II — трансформные разломы; III — глубоководные желоба

Вулканические же породы базальтовой ассоциации слагают основной объем верхней части горных сооружений. В отличие от подстилающих они в большей степени дифференцированы и, как правило, характеризуются повышенной щелочностью. Выше залегает комплекс осадочных и вулканогенно-осадочных пород позднего

мезозоя — кайнозоя. Выделяется несколько разновозрастных комплексов, которые, однако, близки по литологическому составу. В них выделяются рифогенные и кокколит-фораминиферовые (существенно планктоногенные) известняки, эдафогенные брекчии и вулканокластические породы, образовавшиеся в фазы позднейших вулканно-тектонических активизаций. Обычно такие комплексы датируются концом раннего — началом позднего мела (апт — турон), второй половиной позднего мела (сантон — маастрихт), серединой палеогена (поздний палеоцен — эоцен). Нелитифицированные и слабо-литифицированные планктоногенные карбонатные осадки датируются миоценом и плиоцен-четвертичным возрастом. Они, как правило, покрывают плоские вершины гайотов, поверхности ступеней на склоне.

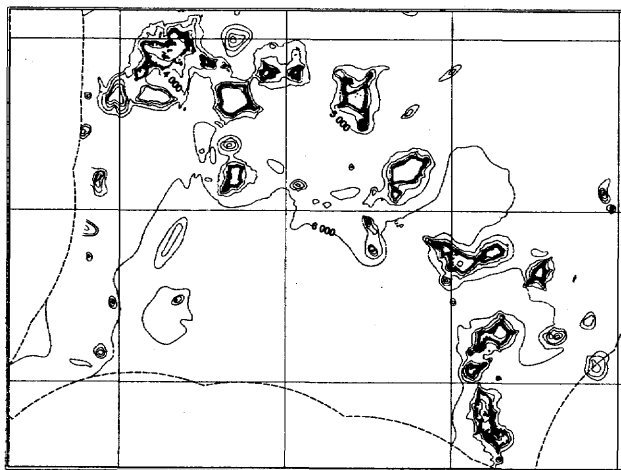


Рис. 10.3.2. Схема расположения рудных полей кобальтоносных марганцевых корок в пределах Магеллановых гор (Тихий океан)

Закономерности распределения руд. Железомарганцевые корки развиты на обнаженных поверхностях коренных пород, в то время как конкреции приурочены к зонам развития нелитифицированных осадков. В целом распределение железомарганцевых образований характеризуется концентрической зональностью (рис. 10. 3.3).

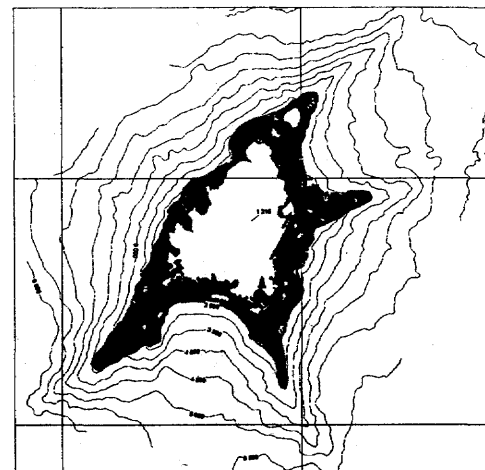


Рис. 10.3.3. Схема расположения рудных залежей кобальтоносных марганцевых корок на одном из гайотов Магеллановых гор

Центром зональности является вершинное плато гайота, обычно покрытое нелитифицированными карбонатными осадками и являющееся безрудной зоной. По направлению от центра зональности, совпадающему с погружением склонов, имеет место чередование концентрических лентообразных зон, характеризующихся различными условиями локализации корок — степенью присыпанности осадков, расчлененностью мезорельефа поверхностей корковых покровов, степенью сплошности этих покровов, наличием или отсутствием ассоциирующих конкреционных образований (рис. 10.3.4). Также концентрической зональности подчиняется и распределение мощности корок (рис. 10.3.5). В общем случае в верхних частях склона, в его выпуклой части, мощность корок выше, в вогнутых частях склона она снижается. Однако на распределение мощностей корок накладываются отпечаток и другие закономерности, в основном связанные с изменчивостью рельефа дна.

Внешний облик корок определяется строением их поверхностей. Они характеризуются сложной иерархической организацией, в которой можно выделить несколько уровней — от макрорельефа, определяемого ре-

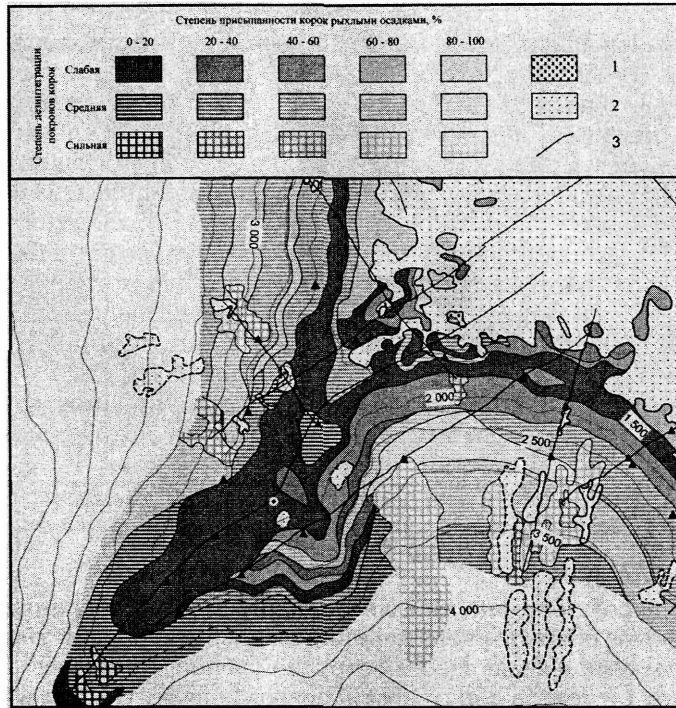


Рис. 10.3.4. Фрагмент карты структуры рудного поля гайота Грамберга.

Штриховкой и тоном показаны различные градации степеней присыпанности и дезинтеграции (нарушенности) покровов корок; 1 — поля развития конкреций; 2 — безрудные зоны (поля плиоцен-четвертичных нелитифицированных осадков); 3 — положение фотопрофилей

льефом поверхности коренного обнажения (подушечные лавы, крупные промоины, мелкие уступы) с размерами форм в десятки сантиметров — первые метры, до микро рельефа, представленного всевозможными почковидными и бугорковидными наростами, известными в литературе как ботроиды, с размерами от нескольких миллиметров до первых сантиметров (рис. 10.3.6, 10.3.7). Корки обладают слоистым строением: в разрезе выделяют 3–4 рудных слоя мощностью 2–3 см каждый, отличающихся обликом, строением, физическими свойствами (плотностью, влажностью, пористостью, прочностью

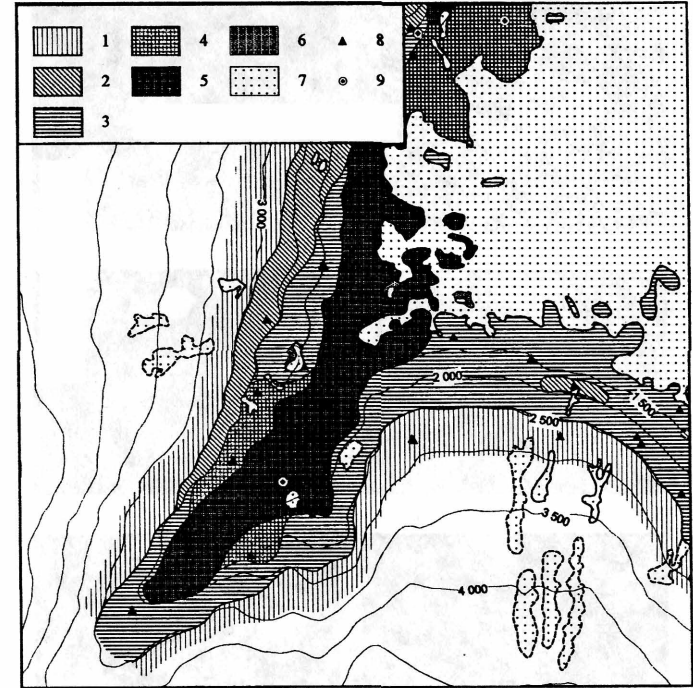


Рис. 10.3.5. Распределение мощности корок на участке рудного поля гайота Грамберга.

Условные обозначения:

1–5 — различные мощности покровов корок, см: 1 — менее 1, 2 — от 1 до 4, 3 — от 4 до 7, 4 — от 7 до 10, 5 — свыше 10; 6 — зоны распространения конкреций; 7 — безрудные зоны; 8–9 — станции геологического опробования: 8 — графирования, 9 — бурения неглубоких скважин

и другими), нерудными примесями (рис. 10.3.8). Вещество нижних слоев обычно диагенетически преобразовано в существенной степени, плотное, прочное, существенно фосфатизированное. Верхние слои — более пористые, влажные, хрупкие.

Биостратиграфическое датирование показало, что формирование корок началось в конце позднего палеоцена и продолжается в настоящее время. Например, в корках Магеллановых гор выделены слои позднепалеоценового — раннеэоценового, средне-позднеэоценового, миоценового и плиоцен-четвертичного возрастов.

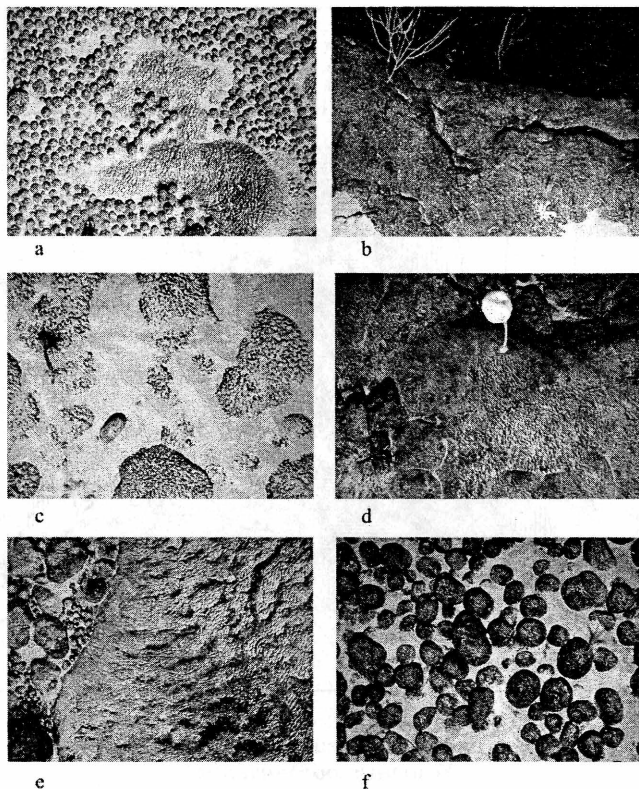


Рис. 10.3.6. Донные фотографии кобальтоносных железомарганцевых образований:

- a — мелкие сферические конкреции, залегающие на тонком слое карбонатных осадков, перекрывающем покровы корок;
- b — локальный уступ в поле ненарушенных покровов корок;
- c — покров корок с расчлененным мезорельефом, в значительной степени (от 40 до 60 %) присыпанный карбонатными осадками; на поверхности осадков отмечена валунная эллипсоидальная конкреция;
- d — покров корок, свободный от осадков, с отдельными западинами и обломочным материалом на его поверхности, в верхней части кадра — морская лилия;
- e — сплошной покров корок в левой части снимка перекрыт карбонатными осадками, на поверхности которых залегают мелкие и валунные конкреции;
- f — поле валунных конкреций сферического и эллипсоидального морфотипов

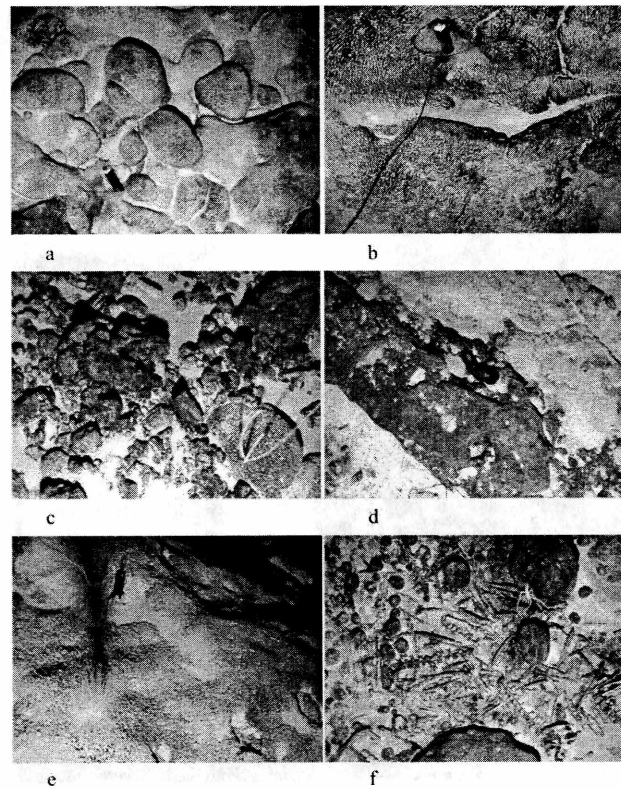


Рис. 10.3.7. Донные фотографии кобальтоносных железомарганцевых образований:

- a — поверхность покрова корок с высокой степенью горизонтальной расчлененности (более 10 расчленяющих элементов) и слабой степенью дезинтеграции;
- b — сплошной покров корок в начальной стадии дезинтеграции; в центральной части снимка трещина шириной от 5 до 20 см заполнена карбонатными осадками;
- c — участок сильно дезинтегрированных корковых покровов (акваколлювиальная осыпь); плиты корок средних размеров перемешаны с мелкими обломками корок, коренных пород, конкреционных образований, карбонатными осадками;
- d — покровы корок средней степени дезинтеграции, развитые на слоистых осадочных породах (глины, песчаники) в средних частях склона и частично присыпанные карбонатно-глинистыми осадками;
- e — сплошной ненарушенный покров корок, развитых на крутом обрывистом склоне;
- f — зона разгрузки материала (теневая гидродинамическая зона); накапливаются осадки, с которыми ассоциируют мелкие и валунные конкреции, «донный хворост» (скелеты стеклянных губок).

Примечание. Груз-разведчик в кадре имеет диаметр 10 см и высоту 25 см

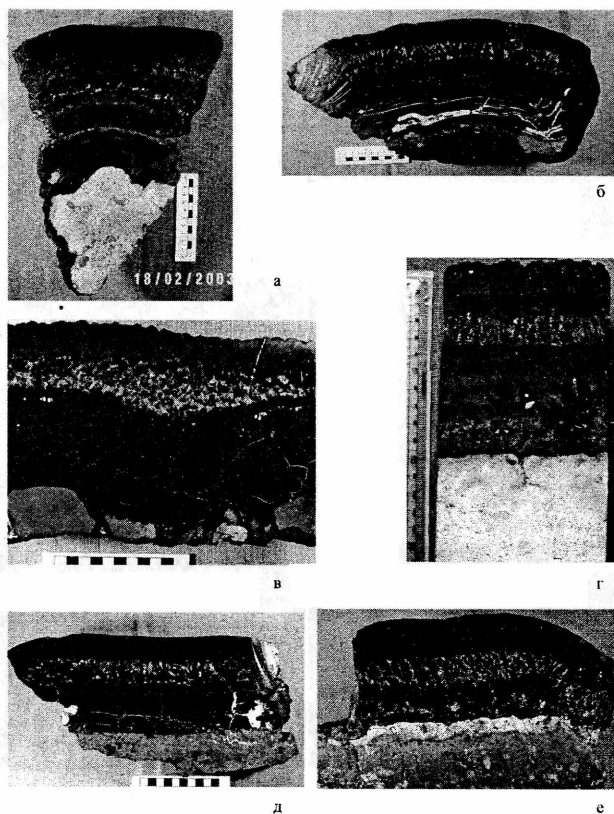


Рис. 10.3.8. Строение железомарганцевых корок (срезы образцов):

- а — 4-слойная корка на туфе (мощность около 17 см);
- б — корковая плита, 4-слойный разрез верхней части;
- в — 4-слойная корка на базальтовой брекчии; г — 3-слойная корка на оолитовом известняке, образец из керна скважины;
- д — 3-слойная корка на туфе; е — 2-слойная корка на базальте

Очевидно наличие существенных перерывов в накоплении рудного материала продолжительностью по несколько миллионов лет, что говорит о многогенерационном характере роста корок.

В минеральном составе корок резко преобладают железистый вернадит ($\delta\text{-MnO}_2$) и марганецсодержащий ферроксигит ($\gamma\text{-FeOOH}$). Кроме того, встречаются

различные гидроксиды марганца и железа, из нерудных примесей — фосфаты (обычно франколит), кварц, полевые шпаты, глинистые минералы, цеолиты (преимущественно филлипсит). Нижняя часть разреза обычно фосфатизирована, в верхней из нерудных преобладают глинистые минералы, цеолиты, кварц. В нижних слоях понижены содержания рудных компонентов — марганца, железа, кобальта, никеля и других. В верхних — картина противоположная.

В пределах рудного поля возможно выделение от одного до трех потенциальных месторождений, в каждом из которых ресурсы сухой руды могут достигать 30–40 млн т, кобальта 150–200 тыс. т, марганца — 7–8 млн т. Очевидно, что по ресурсам кобальта месторождения можно относить к уникальным. При этом площадь, на которой сосредоточены эти ресурсы, составляет 300–400 км².

Таким образом, объекты поисков и разведки кобальтоносных марганцевых руд развиты в пределах подводных гор и локализованы на глубинах от 1000 до 3500 м, на поверхностях с уклонами от 0–5°, до 20–25° и более. Поверхности могут быть относительно ровными или в значительной степени расчлененными, осложненными уступами, грядами, ложбинами.

Прежде чем перейти к характеристике поисковых и разведочных работ, необходимо привести принятые в настоящее время определения некоторых таксономических единиц, используемых при геологоразведочных работах на КМК. Тем более что эти понятия существенно отличаются от традиционных, используемых для объектов на суше.

Рудным районом называют площадь океанского дна с прямо доказанными перспективами рудоносности, приуроченную к вулкано-тектоническим и сводово-глыбовым поднятиям (рис. 10.3.2). **Рудный узел** — часть рудного района кобальтоносных железомарганцевых корок (группа сближенных гайотов), для которого характерна однородная геолого-геоморфологическая обстановка (геологические комплексы, формы и генезис рельефа, глубины океана).

Рудное поле кобальтоносных железомарганцевых корок приурочено к одной подводной горе. Оно обычно обладает концентрически-зональной структурой. Цент-

ром зональности является вершина. На гайотах она, как правило, занята обширной безрудной зоной, приуроченной к области развития неконсолидированных карбонатных осадков. По периферии вершинного плато пологие поверхности свободны от осадков и на обнаженных коренных породах развиты относительно мощные железомарганцевые корки. Обычно это сплошные ненарушенные покровы, в определенной степени присыпанные карбонатными осадками. Степень присыпанности падает от безрудной зоны к бровке склона. Зона ненарушенных покровов продолжается и на самой бровке склона, и, частично, на верхних участках склонов. Именно с этими корками и связывают основные перспективы промышленно значимого оруденения.

Ниже по склону происходит чередование узких лентовидных зон, отличающихся характером оруденения, что выражено в различной степени нарушенности корковых покровов, их присыпанности неконсолидированными осадками, наличием или отсутствием ассоциирующих конкреций.

Концентрической зональности в целом подчинено и распределение мощности корок. Однако эта картина обычно осложнена чертами более высоких порядков, также, в основном, контролируемых рельефом дна. В частности, высокие мощности отмечаются на отрогах, крупных сателлитных постройках и других выступах рельефа.

В пределах рудного поля может выделяться несколько **рудных залежей**. Последняя ситуация имеет место в случаях очевидного разрыва оруденения (рис. 10.3.9). Такие разрывы могут быть связаны с особенностями рельефа — например, на отдельных участках склоны резко выполаживаются и накапливающиеся осадки обуславливают здесь существование безрудных участков — или с резким сокращением мощности корок. В этом случае рудные залежи приурочены к определенным формам и элементам рельефа — отрогам, седловинам, сателлитным постройкам, участкам склона или вершинного плато. На крупных гайотах может выделяться от 3–4 до 8–10 рудных залежей, площади которых изменяются от первых десятков до первых сотен квадратных километров. Число залежей с площадями 200–300 км² не превышает 2–3.

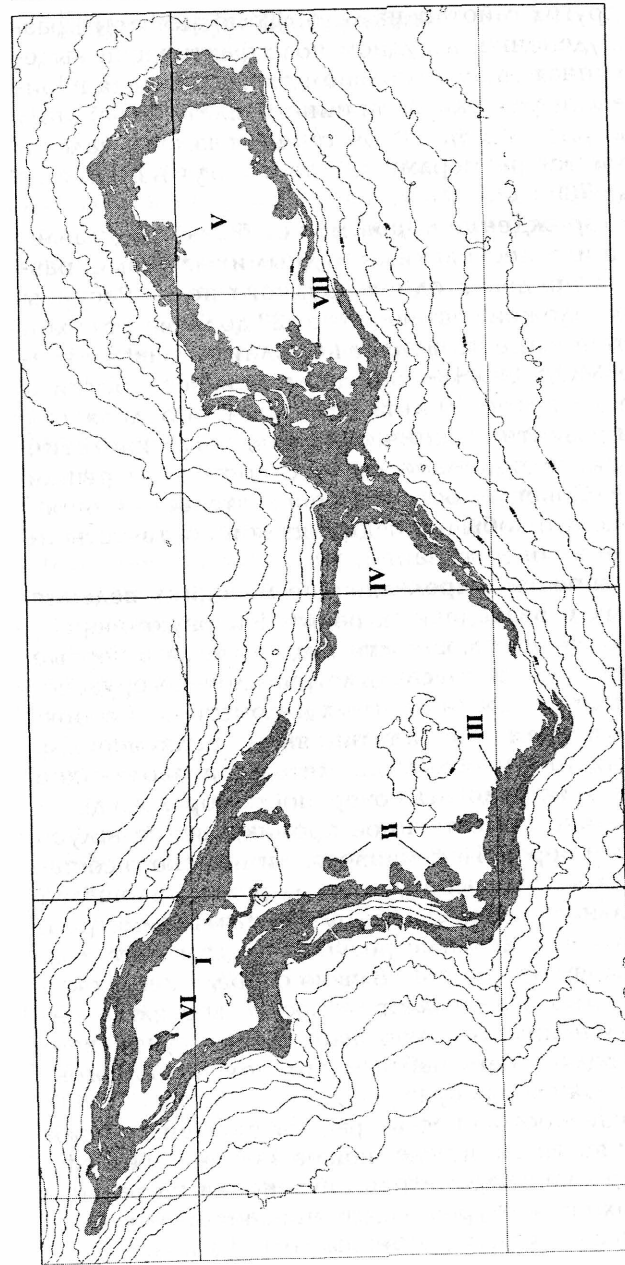


Рис. 10.3.9. Схема расположения рудных залежей кобальтоносных марганцевых корок на гайоте Федорова. Римскими цифрами обозначены номера залежей, арабскими подписаны изобаты, м

На других гайотах, на которых не выявлены разрывы оруденения, в рудном поле фактически выделяется единая залежь, кольцом охватывающая периферические участки вершинного плато и верхних склонов (рис. 10.3.3). В этом случае размеры залежи определяются размерами гайота и могут изменяться от 200 до 700 км².

Месторождение корок может быть представлено одной или несколькими рудными залежами, развитыми в пределах одного рудного поля. Ресурсы крупных залежей составляют от 20 до 90 млн т сухой руды, что вполне позволяет выполнить главное требование МОД ООН — рентабельной разработки в течение не более 20 лет. Все будет определяться уровнем развития технических средств, технологий разработки и переработки руд, состояния рынка металлов. Совокупность этих обстоятельств и определяет годовую добычу предприятия и соответственный срок его существования.

Особенности, определяющие методику ведения поисковых и разведочных работ. В первую очередь важно то, что при мощности рудного слоя в первые сантиметры — десятки сантиметров площадь оруденения занимает сотни квадратных километров, т. е. оруденение в первом приближении является двумерным. Соответственно необходимы методы, позволяющие эффективно исследовать поверхность морского дна и необязательно существенное проникновение вглубь осадков или пород. Изменчивость химического состава в корках в пределах выделяемых рудных площадей относительно невелика, поэтому главным параметром, определяющим удельные ресурсы руды и металлов, является мощность корок. В свою очередь невысокая изменчивость этого параметра относительно протяженности оруденения позволяет использовать существенно более редкие сети наблюдений, чем на гипергенных месторождениях суши.

Еще одной особенностью рассматриваемых месторождений является определяющее значение рельефа в распределении параметров оруденения на различных иерархических уровнях, что придает особую важность детальным исследованиям рельефа дна.

Методы и инструменты исследований

При геологоразведочных работах на железомарганцевые корки в основном используются те же методы, что и при работах на конкреции абиссальных котловин, которые подробно были рассмотрены выше. Выделяют косвенные, опосредованные и прямые методы исследования. Первые и вторые нередко объединяют в дистанционные методы.

Из косвенных геофизических методов используется многолучевое эхолотирование, гидромагнитометрия, геоакустические методы, включающие сонарную съемку и высокочастотное профилирование. На региональной стадии исследования, когда объектом изучения являются рудные районы, используется и непрерывное сейсмоакустическое профилирование. Однако в пределах рудных полей значительная доля площадей приходится на расчлененные поверхности склонов, отражения сейсмических волн от которых дают сложную дифракционную картину, практически не поддающуюся интерпретации.

Фототелевизионное профилирование является опосредованным методом, дающим возможность наблюдать реальное изображение поверхности дна, но не позволяющее получать информацию о строении и составе изучаемых объектов.

Геологическое опробование (прямые исследования) производится скальными драгами, дночерпателями грейферного типа, а также погружными буровыми установками.

Многолучевое эхолотирование в практике производившихся работ выполнялось прибором EM — 12 S 120 норвежской фирмы Simrad. Принципиальной особенностью многолучевых эхолотов является получение отраженного сигнала не от одной точки непосредственно под судном, как у однолучевых приборов, а в непрерывной полосе шириной несколько километров, перпендикулярной профилю судна. Такую возможность дает излучение большого числа лучей в обе стороны от курса судна. Так, в упомянутом приборе их число составляет 81 — один центральный и по 40 в каждую сторону. Эти конструктивные особенности позволяют

полностью покрывать изучаемую площадь, а для надежности и с определенным перекрытием. Все получаемые с помощью прибора карты отвечают условиям вплоть до масштаба 1: 200 000. На глубинах менее 3000 м возможно кондиционное картирование масштаба 1: 50 000. С помощью прибора производится построение батиметрической основы (карты рельефа дна), карты амплитуд обратно рассеянного сигнала (сонарное изображение) и карты уклонов дна. Таким образом, этим методом создается основа для проведения дальнейших геолого-геофизических работ. По сонарным изображениям выделяются участки развития нелигифицированных осадков и зоны обнажения коренных пород. Карты уклонов дна дают большой объем информации для построения геоморфологических и инженерно-геологических карт.

По результатам **гидромагнитной съемки** производится построение карт аномального магнитного поля в графиках и изолиниях. Интерпретация этих карт при работах на подводных горах позволяет получить данные о структурах исследуемых участков. Как правило, здесь широко развиты линейные высокоамплитудные аномалии, обычно интерпретируемые как признаки существования глубинных разломов.

Геоакустические исследования включают комплексную съемку гидролокатором бокового обзора (ГЛБО) и высокочастотным профилографом. В практике производственных работ использовались различные комплексы, но в последние годы используется преимущественно комплекс МАК-1М разработки НИПИОкеангеофизика. Интерпретация материалов высокочастотного профилографа позволяет изучить разрез нелигифицированных осадков и горных пород низкой и средней степени литификации в зонах их распространения. Теоретически, с увеличением частоты изучаемого сигнала, возможно и определение мощностей корок, поскольку во многих случаях свойства корок и субстратов различны. Однако к настоящему времени эта возможность не реализована. Сонарные изображения, получаемые ГЛБО, дают более детальные, чем многолучевой эхолот, границы зон распространения донных осадков и выходов коренных обнажений, поз-

воляют оконтурить мезоформы рельефа дна более высоких порядков по отношению к получаемым многолучевым эхолотом и решить некоторые другие задачи.

Фототелевизионное профилирование также выполняется различными комплексами как российского, так и зарубежного производства, однако в последние годы используются различные модификации фотокомплекса «Нептун», оснащенного цифровыми камерами, осветительными приборами, эхолотами «вверх» и «вниз», а также маяком-ответчиком. В последних модификациях комплекса фотосъемка ведется в цифровом режиме, видеосъемка — в цифровом или аналоговом. При работах на КМК главная задача метода — установление точных границ распространения выходов коренных пород, на которых могут быть развиты железомарганцевые корки. В то же время получаемые изображения позволяют изучать условия локализации руд — степень присыпанности осадками, степень расчлененности мезорельефа корок, степень нарушения корковых покровов, наличие ассоциирующих конкреционных образований. В определенных случаях по характерной морфологии можно судить о типе обнаженных пород, получать различную дополнительную информацию.

Методами **геологического опробования**, способными решить задачу получения проб КМК, являются драгирование и бурение неглубоких скважин. Драгирование производится по профилю стальными коробчатыми или цилиндрическими драгами, оснащенными мешками-накопителями. Инструментом собирается главным образом эдафогенный материал, залегающий на поверхности дна, обломки корок и конкреционных образований, но в ряде случаев отрываются фрагменты корок, залегающих *in situ*. Главная проблема при драгировании — неопределенность места отбора пробы и то, в какой степени эта проба отражает реальное соотношение корок, конкреций и пород на поверхности дна на драгированном участке. Кроме того, драгой не могут быть отобраны пробы со сплошных покровов корок на пологих поверхностях.

Отбор пробы *in situ* в строго координированной точке решается бурением неглубоких скважин. Весьма важно, что при достижении буровым инструментом

субстрата удается определить истинную мощность корок в конкретной точке. Бурение производится при помощи глубоководных погружных установок, оснащенных системами телеметрического контроля, позволяющего произвести установку на выбранный участок и управлять процессом бурения. Различные установки могут быть оснащены одной или несколькими колонковыми трубами. Соответственно в первом случае за один спуск производится бурение одной скважины, во втором — куст скважин, которые можно проходить с перестановкой станка или на одной точке, при этом расстояния между центрами устьев скважин составляют несколько десятков сантиметров. Ниже приводятся характеристики наиболее простой и надежной буровой установки ГБУ-0,7/4000 конструкции ГНПП «Севморгео».

Тип бурения — колонковое.

Диаметр бурения — до 112 мм.

Максимальная глубина бурения — 0,7 м.

Максимальная прочность пород — X-категория по буримости.

Максимальная глубина моря в точке бурения — 4000 м.

К недостаткам метода следует отнести небольшой объем пробы, позволяющий произвести только самые необходимые исследования (как правило, вещественного состава), а также то, что метод продолжает оставаться относительно дорогим. Что же касается средней производительности, она не намного ниже, чем при драгировании, и очевидны резервы ее увеличения.

Для вспомогательных исследований используются и другие пробоотборники. Дночерпатели грейферного типа или коробчатые пробоотборники, оснащенные дискретной фотоустановкой, используются для изучения нижних частей склонов в зонах, где развитие полей донных осадков преобладает над участками выхода коренных пород. Задачей является изучение сопутствующего конкреционного оруденения, которое может быть широко развито в этих зонах, а также свойств донных осадков. Аналогичные задачи могут решаться и на вершинном плато.

Для изучения верхних метров разреза донных осадков с целью определения их состава, возраста, физико-механических и других свойств используются прямоточные грунтовые трубки. Возможно использование вибрационных и гидравлических трубок.

Следует отметить, что существуют и другие технические приспособления — гидравлические крупнообъемные (до 1,5 м³) ковшевые и грейферные пробоотборники, обычно оснащенные системами телеметрического контроля. Ими обычно производятся специализированные исследования, для рядового же опробования они практически не используются. Следует заметить, что остается необходимость в разработке инструмента, способного отбирать координированную крупнообъемную пробу с участка известной площади.

Поиски месторождений КМК

Целью поисковых работ является выявление в Международном районе морского дна площадей и участков, перспективных на нахождение месторождений КМК. Для реализации этой цели необходимо решить ряд задач:

- выявить основные типы рельефа и структурно-тектонические особенности рудных полей;
- изучить геологическое строение рудных полей;
- выявить масштабы и характер распространения скоплений корок, установить закономерности их пространственного размещения;
- всесторонне изучить строение, состав и свойства КМК и конкреций (рудных образований);
- изучить технологические свойства руд на минеролого-технологических и лабораторных пробах, отобранных из различных природных типов, дать предварительную оценку целесообразности выделения возможных технологических типов руд;
- изучить физико-механические свойства и состав пород субстрата и горно-геологических условий их возможной эксплуатации;
- изучить гидрологический режим на отдельных участках рудных полей и фоновые параметры окружающей среды;

- уточнить сведения по климатическим, океанографическим, гидрологическим и другим природным условиям акватории рудного поля;
- провести экологические исследования и разработать предварительные рекомендации по охране природной среды.

Поисковые предпосылки обнаружения промышленно значимых скоплений особенно важны при поисковых работах на КМК. Как уже упоминалось, в океанах находится несколько тысяч подводных гор, поэтому работы должны вестись акцентировано в районах, наиболее благоприятных для развития коркового оруденения.

В самом факте приуроченности оруденения к вулканическому или вулканно-тектоническим подводным горам можно видеть проявление **вулканно-тектонического** контроля и сформулировать соответствующую предпосылку.

Стратиграфические предпосылки можно выделить опосредованно, через установленный возраст корок. Поскольку базальный слой разреза корок датирован поздним палеоценом — эоценом, корки максимальной мощности не могут быть обнаружены на более молодых породах. В общем же случае наиболее благоприятными на предмет обнаружения месторождений КМК являются подводные горы мелового возраста. В то же время зависимость мощности корок от возраста субстрата не является прямой. Это связано с тем, что периоды формирования рудных слоев чередуются с периодами неотложения, а нередко и с частичной деградацией ранее накопленного материала.

Геоморфологические предпосылки заключаются в существовании отчетливой зависимости мощности корок от форм и элементов рельефа, на которых они развиты. По современным представлениям наиболее перспективными для выявления богатых залежей корок являются:

- выступы рельефа дна — в первую очередь отроги, сателлитные постройки и другие;
- субгоризонтальные поверхности, в случае если они свободны от осадков, — вершинные плато, ступени в верхних частях склонов, базисные поверхности седловин;

— верхние, выпуклые, части склонов в целом более перспективны, чем нижние, вогнутые.

Здесь, однако, следует иметь в виду, что в данной ситуации формы рельефа дна являются определяющими не сами по себе, а в тесной взаимосвязи с гидро- и литодинамическими условиями, а возможно, и с тектоно-магматическим контролем, поскольку крупные мезоформы имеют соответствующее происхождение. Выступы рельефа вызывают увеличение скоростей придонных течений при встрече с ними, что по существу представляющим приводит к увеличению окислительной способности среды и соответственно ускоренному переходу полезных компонентов в наиболее окисленные нерастворимые формы.

Субгоризонтальные и пологонаклонные поверхности могут быть свободны от осадков только в том случае, если последние удаляются с поверхности коренных пород придонными течениями и соответственно на этих поверхностях существует режим транзита или эрозии нелитифицированных отложений.

О чисто **гидродинамических** предпосылках можно говорить только в условиях равномерного рельефа. Сформулировать их можно так:

— участки с повышенной гидродинамической активностью в пределах спокойного профиля склонов наиболее перспективны для развития коркового оруденения.

К **литодинамическим** предпосылкам нередко относят стабильность склонов или, в более общем виде, любых поверхностей, на которых образуются корковые покровы. Однако, если называть вещи своими именами, мы не можем судить о стабильном режиме в течение продолжительного периода развития корок. Скорее, нахождение мощных корок с полным разрезом заставляет нас предполагать, что поверхности были стабильны в продолжение длительного времени.

Система проведения поисковых работ. Поисковые работы на КМК неоднократно проводились организациями морской геологоразведочной службы России в северо-западной приэкваториальной части Тихого океана на Магеллановых горах и поднятии Маркус-Уэйк, потому в разделе описаны реально применяющиеся

методики ведения геологоразведочных работ. Поисковые работы выполняются в пределах рудных полей, практически всегда приуроченных к индивидуальным подводным горам.

Работы производятся в три этапа — подготовительный, основной и детализационный. Во время **подготовительного**, как правило, выполняются опережающие геофизические работы. В настоящее время основным методом является многолучевое эхолотирование. На поисковой стадии в задачу метода входит получение цифровой батиметрической основы масштаба 1: 200 000. Фактически это карта рельефа дна подводной горы (гайота). Поскольку съемка является площадной, о густоте сети говорить не приходится — в наиболее глубоководных местах захват луча имеет большую ширину, поэтому расстояние между галсами может быть большим. На мелководных участках ширина захвата меньшая, соответственно межпрофильное расстояние должно быть меньше. Полученные батиметрические и сонарные карты являются основой для планирования сети и последовательности выполнения работ основного этапа.

Гидромагнитные наблюдения выполняются для получения представлений об основных морфотектонических структурах участка работ. Как правило, наблюдения производятся по системе параллельных профилей через 5–10 км с обязательной увязкой их ортогонально ориентированными секущими. Поскольку основные магнитные аномалии в регионе имеют субширотную ориентацию, основная сеть профилей обычно ориентирована меридионально.

На **основном** этапе поисков главными методами являются фототелевизионное профилирование и геологическое опробование. Нередко в основной этап включают и геоакустические работы. Задачей фототелевизионного профилирования, с одной стороны, является выявление закономерностей площадного распределения рудных образований, с другой — выделение участков морского дна для проведения геологического опробования. Поэтому сети фототелевизионного профилирования и опробования увязаны между собой.

Сеть фототелевизионных профилей разбивается обычно через 5 км вкрест направления склонов. Именно поэтому при планировании сетей необходима точная батиметрическая основа. Очевидно, что профили не параллельны, а ориентированы радиально. В то же время на крупных гайотах, на протяженных склонах одного направления несколько профилей могут быть параллельны. Необходимо охарактеризовать фотонаблюдениями все основные морфоструктурные элементы гайотов — отроги, седловины, крупные сателлитные постройки. Имели место прецеденты, когда регулярная систематическая сеть через 5 км не охватывала основных структур, в результате чего не была достигнута требуемая плотность сети, а геологические задачи решены не были, что потребовало проведения дополнительных исследований.

Сонарное изображение, полученное многолучевым эхолотом, также помогает в проектировании сети — может быть сокращена протяженность фотопрофилей в безрудных зонах вершинных плато, которые проявлены наиболее светлыми областями, при пересечении крупных безрудных окон можно увеличить расстояния между фотоснимками.

Геоакустическое профилирование может проводиться как на основном, так и на детализационном этапе. На основном этапе обычно используют гидролокаторы бокового обзора дальнего действия (ГЛБОДД), которые буксируются за судном с небольшим заглублением близко к поверхности моря. Они позволяют покрыть сонарной съемкой всю площадь поисковых работ. Расстояние между профилями выбирают так, чтобы получить сплошное покрытие площади встык или с перекрытием. Для того чтобы минимизировать искажения, необходимо, чтобы профили были ориентированы вкрест склона. Получаемое сонарное изображение в целом сходно с картой амплитуд обратно рассеянного сигнала многолучевого эхолота, однако характеризуется более высокой разрешающей способностью, поскольку осреднение производится в точке меньшего диаметра.

По фотоматериалам выбирают участки для проведения геологического опробования. На склонах при

определенной степени дезинтеграции корковых покровов используются скальные драги, на пологих поверхностях, на сплошных ненарушенных покровах корок опробование производится бурением скважин. В целом при формировании сети исходят из ее ориентировочной плотности: 1 станция на 10 км².

Задача опробования драгами состоит в получении образцов корок с субстратом, что позволяет определить мощность корок и отобрать достаточное количество материала для проведения всех необходимых видов исследований. Поскольку драгирование производится на профиле определенной длины, в пробе может оказаться неоднородный материал: корки на нескольких типах субстрата, нередко с различным строением разреза, конкреции, различные типы коренных пород. С целью минимизации неопределенности, с одной стороны, стараются максимально сократить длину драгирования, с другой — предусматривают определенные операции обработки пробы, имеющие целью снизить субъективизм интерпретации. Необходимо отобрать представительные образцы для изучения строения и свойств корок, включая пробы, для того чтобы охарактеризовать химический и минеральный состав рудных образований, выполнить исследования их физических свойств. Из пород также отбираются образцы для изучения их строения и состава, физических свойств; отбираются коллекции для палеонтологических исследований, исследований магматических и фосфатизированных пород. Несмотря на указанные недостатки драгирования, при проведении поисковых работ именно оно является основным методом геологического опробования. Это обусловлено его надежностью и невысокой стоимостью.

Задачей бурения неглубоких скважин на поисковой стадии является в первую очередь опробование пологих поверхностей, на которых развиты ненарушенные покровы, т. е. там, где драгой отобрать пробу невозможно. Прохождение отдельных буровых профилей позволяет получить данные об изменчивости состава разреза и мощности корок, дает дополнительные сведения о геологическом строении участков.

Соблюдение плотности сети основного этапа поисковых работ позволяет оценить ресурсы руды (железомарганцевых корок и конкреций) категории Р₂.

При документации материала, полученного драгами и керна скважин, заполняются различные формы журналов, в которых дается исчерпывающая информация о месте отбора пробы, геологической ситуации в точке опробования, полная характеристика рудных образований и коренных пород. Обязательно указываются общая мощность корок, мощности и строение отдельных слоев, слагающих разрез. Параллельно в обязательном порядке производится фотодокументация всех описываемых объектов, производятся схематические зарисовки. Из полученного материала отбираются рядовые пробы, характеризующие состав отдельных типов рудных образований, и частные, служащие для решения конкретных задач — выявления состава отдельных слоев, состава корок на различных типах субстрата, конкреционных образований по фракциям и морфотипам и других. В процессе документации выполняются различные типы исследований, в первую очередь физических свойств, которые необходимо измерить сразу же после подъема материала на борт для получения характеристики объектов в естественном состоянии.

Коренные породы (каменный материал) сортируются по различным типам, документируются, производится измерение их физических свойств, отбираются пробы для различных видов исследования. Химический состав обычно определяется по высушенным образцам, полученным в процессе определения влажности. Отбираются коллекции магматических пород, фосфатизированных пород, образцов для определения физико-механических свойств, для осадочных пород отбираются коллекции для биостратиграфического датирования. Все отобранные пробы заносятся в специальные реестры.

На *детализационном* этапе исследования проводятся не на всей площади поисковых работ, а на отдельных выбранных участках, либо являющихся наиболее перспективными, либо на которых представлены наиболее характерные для рудного поля геологические

и геоморфологические условия. Как правило, на этом этапе происходит выработка методических подходов к работам следующих стадий, опробуются новые системы исследований с большей густотой сети, новые методы и техника исследований, производятся специализированные работы.

При проведении фотопрофилирования сгущается не только сеть профилей, но и расстояние между кадрами. Бурение в основном производится по буровым профилям, с тем чтобы охарактеризовать изменчивость параметров вдоль и вкрест склонов. Геоакустическое профилирование производится придонными комплексами, что позволяет увеличить разрешение сонарного изображения дна и получить геоакустические разрезы перекрывающих осадков. Оно же дает возможность оценить мощность осадков в пределах небольших безрудных окон в пределах рудных залежей, существование которых обусловлено локальной аккумуляцией осадков. Сгущение сети опробования на участках детализационных работ позволяет оценить ресурсы руды категории P_1 .

Из специализированных работ на детализационном этапе обычно выполняются инженерно-геологические исследования, целью которых является изучить горно-геологические условия локализации руд и соответственно условия их дальнейшей эксплуатации. Отбираются технологические крупнообъемные пробы руды, на которых в специализированных лабораториях производится разработка технологии передела руды, включая как этапы металлургической переработки, так и предварительного обогащения.

Состояние атмосферы и поверхности океана в районе работ, с целью детализации метеорологических данных, фиксируется на всех этапах проводящихся работ. Обязательным является проведение гидрологических и экологических исследований. В задачи первых входит изучение вертикального распределения физико-химических параметров водной толщи (температура, соленость, плотность, скорость звука, прозрачность, цвет, содержание растворенных газов и взвесей, рН, Eh). Кроме того, определяются скорости и направления течений на стандартных горизонтах.

Особое значение имеет изучение силы и направления придонных течений, состав придонного слоя воды.

Экологические исследования производятся с целью выявления возможных последствий эксплуатации месторождений. На поисковой стадии геологоразведочных работ должны проводиться преимущественно фоновые наблюдения для установления естественных параметров окружающей среды, изучения экосистемы рабочих площадей. В принципе фоновые исследования включают изучение уже перечисленных метеорологических и гидрологических параметров, но помимо этого необходимо изучить биогенную составляющую взвесей в морской воде, основные классы органических веществ во взвешенном и растворенном состоянии, бактериальное сообщество, фитопланктон, зоопланктон, ихтиофауну, морских млекопитающих. В таком же направлении изучаются донные осадки и поровые воды в зонах развития осадков, бентосные сообщества, в том числе и в зонах выхода на поверхность дна коренных пород. На поисковой стадии гидрологические и экологические исследования производятся на станциях. По их результатам выбирается положение эталонного (заповедного) полигона, наиболее адекватно характеризующего рудное поле, для проведения дальнейших экологических наблюдений.

Обработка материалов. В целом обработка материалов производится так же, как при проведении поисковых работ на месторождениях суши. В первую очередь необходимо произвести комплекс лабораторных исследований, направленный на изучение свойств, строения и состава отобранных проб и образцов рудных образований (железомарганцевых корок и конкреций), горных пород, являющихся их субстратами, и, при необходимости, нелитифицированных осадков, морской воды.

Все полученные при проведении полевых и лабораторных работ материалы систематизируются и обобщаются. Создаются цифровые, в том числе графические базы данных. Результаты излагаются в *отчете о геологическом строении рудного поля*, который состоит из текста отчета, комплекта графических и текстовых приложений. Текст содержит сведения о физико-географи-

ческих условиях проведения работ, изученности района, применявшихся методиках полевых и лабораторных исследований, основную геологическую часть. В основной части приводятся данные о стратиграфическом строении разреза гайота, о развитых магматических комплексах, тектонической структуре, истории геологического развития, распространении полезных ископаемых. Помимо железомарганцевого обычно на гайотах развито фосфатное оруденение и, нередко, цеолитовая минерализация. В специальных главах подробно характеризуются свойства, строение и состав кобальтоносных марганцевых образований, сведения о горно-геологических условиях локализации, специализированных и опытно-методических исследованиях.

Завершает отчет наиболее важная глава, посвященная оценке ресурсов, в которой излагаются принципы, методика и результаты оценки. Оценка прогнозных ресурсов проводится в соответствии с действующими нормативными документами. Плотность сети наблюдений для категории P_1 составляет одна станция на 5 км^2 , P_2 — одна станция на 10 км^2 , P_3 — одна станция на 100 км^2 . Требуемая среднеквадратическая погрешность навигационного обеспечения для категории P_1 — 50 м, для категории P_2 — 200 м, для категории P_3 — 300 м. Выделение подсчетных блоков и количественная оценка ресурсов осуществляется на горизонтальных проекциях — схемах оценки прогнозных ресурсов. Для ресурсов категорий P_3 и P_2 используются схемы масштаба 1: 200 000, для категории P_1 — масштаба 1: 50 000. Для масштаба 1: 200 000 и более мелких допустимо использование проекции Меркатора, для более крупных масштабов необходимо использование равноплощадных проекций.

Следует отметить, что при оконтуривании рудных площадей используются различные синтетические показатели, однако все они так или иначе рассчитываются исходя из вполне реальных величин — средней мощности корки на станции наблюдения, содержания полезных компонентов, плотности и влажности вещества корок. Из синтетических показателей используются в первую очередь *условный кобальт* и *продуктивность по условному кобальту*. Условный кобальт слу-

жит для приведения к единому знаменателю всех полезных компонентов по стоимости, а продуктивность по условному кобальту — для оценки стоимости единицы руды.

В комплект графических приложений обязательно входят карты фактического материала, карта изученности рельефа дна, геологическая и геоморфологическая карты, карты результатов геофизических исследований. Также в комплект входит ряд карт, отражающих особенности железомарганцевого оруденения — карты распространения рудных образований, ряд карт распределения оценочных параметров, в первую очередь мощностей корок и содержаний полезных компонентов, а также схемы оценки прогнозных ресурсов.

В текстовых приложениях помещаются все результаты полевых, лабораторных и камеральных работ, включая ведомости оценки прогнозных ресурсов.

По завершении этапа поисковых работ в пределах всех намеченных объектов составляются «Техико-экономические соображения (ТЭС) о целесообразности постановки дальнейших работ с проектом оценочных кондиций».

Поскольку все работы в пределах Международного района океанского дна производятся под строгим контролем Международного органа по морскому дну Организации Объединенных Наций (МОД ООН или ISBA UN), важной задачей по завершении поисковых работ является подготовка заявки на выделение площадей для проведения разведочных работ в этот орган. МОД ООН разрабатывает правила проведения заявочной кампании в соответствии с требованиями Конвенции ООН по морскому праву. К настоящему моменту существуют три основных варианта подачи заявки применительно к кобальтоносным железомарганцевым коркам и глубоководным полиметаллическим сульфидам.

1. Формирование в заявке двух площадей равной коммерческой ценности. Одна из площадей, по выбору органа, резервируется за МОД ООН для развивающихся стран, другая — передается организации-заявителю.
2. Заявляется единая площадь, но с МОД ООН подписывается договор о разделе продукции.

3. Заявляется единая площадь, но с МОД ООН создается совместное предприятие.

Оговаривается, что выделяемая заявителю площадь должна обеспечить эксплуатацию месторождения с заданной производительностью в течение 20 лет. К настоящему времени величина производительности рассматривается как 2500 т кобальта в год.

Разведка месторождений КМК

Целью разведочных работ является полная геолого-экономическая оценка месторождения и его подготовка для промышленного освоения. Для этого должны быть решены следующие задачи:

- изучение рельефа дна месторождения с полнотой, достаточной для проектирования и ведения добычных работ;
- уточнение геолого-структурных, литологических, геоморфологических и других факторов, определяющих пространственное размещение и условия локализации отдельных залежей корок;
- уточнение контуров отдельных рудных залежей, условий залегания, особенностей строения, изменчивости геолого-промышленных параметров и качества железомарганцевых корок в их пределах;
- детальное изучение вещественного состава корок и их технологических свойств по каждому технологическому типу или сорту руд с проведением технологических испытаний в полупромышленном, а при необходимости — в промышленном масштабах;
- детальное изучение горно-геологических и горно-технических условий эксплуатации отдельных залежей корок;
- оценка климатических, океанографических, гидрологических и других природных условий акватории месторождения с полнотой, обеспечивающей проектирование добычного предприятия и ведение эксплуатационных работ;
- проведение опытных добычных работ;
- изучение процессов загрязнения водной среды и поверхности дна при проведении опытной разра-

ботки и обоснование мероприятий по их защите при эксплуатации месторождения корок;

- составление отчета по результатам разведочных работ с подсчетом запасов руды по категориям C_1 и C_2 и оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 в соотношениях, предусмотренных нормативными документами;
- составление технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности освоения месторождения и разработка постоянных кондиций;
- утверждение запасов месторождения КМК и металлов, содержащихся в них и имеющих промышленное значение в ГКЗ РФ.

Следует оговориться, что представления о ведении разведочных работ месторождений КМК в полной мере гипотетичны. Разведочные работы на КМК если еще и не ведутся, то активно идет подготовка к их проведению. Завершены поисково-разведочные работы, разрабатываются методические и технические основы разведки, выполняются опытно-методические морские работы по их применению. Развитие же геологоразведочных работ на корки на несколько шагов отстает. В настоящий момент завершены поисковые работы на ряде рудных полей, производится подготовка заявки в МОД ООН. Сам Международный орган готовит нормативные документы для проведения заявочной кампании. После закрепления площадей за организациями-заявителями предстоит еще период детализационных работ, сопоставимых с поисково-разведочными, в рамках которых заявителям предстоит окончательно определить, какие именно площади они собираются разведывать и эксплуатировать, и только после этого должны начаться полномасштабные разведочные работы. То есть во временном отношении до начала разведочных работ есть еще от семи до десяти лет.

С другой стороны, мы имеем опыт проведения значительных объемов поисковых работ, имеем представления, какие проблемы следует решить на стадии проведения разведочных работ, и соответственно можем предварительно определиться, как решать имеющиеся методические и технические вопросы.

Принципы разведки. Рассмотрим принципы разведки применительно к месторождениям железомар-

ганцевых корок. Возможность соблюдения **принципа полноты исследования** в целом опасения не вызывает. Накопленные знания показывают, что месторождение корок может быть представлено либо относительно небольшим гайотом (Грамберга, Геленджик, Пегас), либо крупными залежами в пределах рудных полей, развитых на крупных гайотах типа Федорова, Говорова, Альба. На таких крупных гайотах возможно оконтуривание двух — трех и более месторождений. Поэтому в силу компактной локализации требование, чтобы месторождение было полностью оконтуренным, не является невыполнимым. Требование полного пересечения месторождения разведочными выработками также не представляется сложным. Месторождения по сути являются двумерными и полностью расположенными на поверхности дна, поэтому при наличии соответствующей техники отбора проб, пересечение всего месторождения как вкрест, так и вдоль направления изобат не представляется сложной задачей. Требование же к комплексности изучения, на наш взгляд, в данном случае не имеет специфической особенности по отношению к другим типам месторождений. Выполнение этого требования достигается полнотой и всесторонностью изучения отобранного материала. К настоящему времени выявлен возможный комплекс полезныхпутных компонентов, которые могли бы извлекаться на различных стадиях эксплуатационного процесса, поэтому главное — не упустить в процессе разведки их дальнейшее изучение.

Принцип последовательных приближений реализуется так же, как и при разведке других типов месторождений — разбивкой геологоразведочных работ на этапы. Поскольку сложность строения месторождений можно относить максимум ко второй категории, не исключено, что все работы могут быть проведены в один этап.

Принцип равномерности (равной достоверности) выполняется путем равномерного покрытия разведочными сетями участков месторождения, находящихся на одинаковом этапе исследований. Кроме того, на участках месторождений с различным строением необходимо использовать технические средства, дающие соиз-

меримые результаты. В нашем случае это положение применимо к корковым залежам, локализованным на относительно пологих и относительно крутых поверхностях дна, для которых наиболее эффективными являются различные технические средства отбора проб. Нельзя исключать, что на каких-либо участках сложного строения для получения равнодостоверных результатов потребуются дополнительные детализационные работы.

Принципы наименьших материальных и трудовых затрат и наименьших затрат времени на данном этапе представляется обсуждать преждевременным.

Требования к техническим средствам. В целом технические средства геологоразведочных работ на КМК были рассмотрены выше. Здесь мы акцентируем внимание на требованиях к ним применительно именно к разведочным работам, и в ряде случаев речь пойдет о средствах, которые еще широко не используются или которые только предстоит разработать.

Прежде всего, необходимо остановиться на требованиях к **навигационному оборудованию**. Исходя из того, что для обеспечения разведочных работ потребуются батиметрические основы масштаба не мельче чем 1:10 000, точность привязки должна соответствовать 1 мм в масштабе карты, или 1 м в реальном измерении. В настоящий момент точность привязки судна по спутниковым навигационным системам составляет около 5 м, а забортных аппаратов относительно судна на требуемых глубинах — около 50 м. Однако системы с заявленной нами точностью существуют, хотя и применяются на сегодняшний день ограниченно.

Следует понимать, что косвенные (геофизические) и опосредованные (фототелевизионные) методы будут иметь ограниченное значение, поскольку большинство задач разведки решается прямыми методами, т. е. геологическим опробованием. Однако для решения ряда специфических задач они вполне применимы. Метод, без которого невозможно обойтись при разведке, — все то же **многолучевое эхолотирование**. Именно оно и решает задачу получения точной батиметрической основы, адекватно отражающей рельеф дна в масштабе 1:10 000 и крупнее. Однако такая задача не может быть

решена при помощи судового эхолота, предельная возможность которого — съемка масштаба 1: 50 000 и то на глубинах менее 3000 м. Для решения поставленных задач используются погружные придонные многолучевые эхолоты, функционирующие в режиме буксируемого аппарата. Принципиально они работают так же, как судовой прибор, однако следует учитывать, что более высокое разрешение потребует более частых галсов, а работа в режиме буксируемого аппарата существенно снизит производительность.

С применением *геоакустических* методов существует некоторая неопределенность. Применение ее в существующей модификации (аппарат МАК-1), вероятно, не является целесообразным. Детальность исследований разреза осадочного чехла, достигнутая на предыдущих стадиях, вероятно, достаточна, а информативность сонарной съемки, пусть даже с двукратным перекрытием, не вполне очевидна в сравнении с необходимыми затратами. С другой стороны, более десяти лет назад было принято решение о разработке прибора типа «георадар». Речь идет об аппарате, работающем на сверхвысоких частотах, что может позволить акустическими методами различать корки мощностью не менее 4 см. Действие такого прибора сопряжено с потреблением очень высоких объемов энергии, поэтому не исключено, что конструкция не сможет быть плавучей, а будет буксироваться непосредственно по дну, что потребует решения ряда дополнительных проблем. Однако необходимость разработки такого прибора очевидна. С его помощью возможно было бы проводить оконтуривание отдельных залежей в пределах месторождений, выделять безрудные окна с пониженной мощностью корок, проводить другие исследования с последующей проверкой полученных данных опробованием, но уже со значительной экономией станций наблюдений.

Фототелевизионным профилированием решаются те же задачи, что и на других этапах геологоразведочных работ. Однако к моменту проведения разведочных работ задачи по выделению перспективных площадей уже должны быть решены. Поэтому метод может выступать в основном как вспомогательный. Главным

требованием к нему должно являться увеличение частоты кадров и повышение разрешающей способности съемки. Также необходимо разработать систему интерпретации телевизионной информации, поступающей в непрерывном режиме.

Проведение *геологического опробования* также требует применения новых технических средств или более широкого применения тех, что уже использовались, но ограниченно. Прежде всего, вероятно, придется полностью отказаться от драгирования. Неопределенность места отбора пробы, достаточно продолжительный интервал драгирования (до 2 см в масштабе карты) делают этот метод малоинформативным.

По-видимому, основным методом опробования должно стать *бурение*. В настоящий момент метод имеет ряд ограничений — диаметр бурения не более 112 мм, установка станка на поверхность крутизной не более 15°, умеренная степень расчлененности поверхности и некоторые другие. Однако эти ограничения вполне могут быть сняты путем не самых сложных конструкторских доработок, например использования стабилизационной платформы.

Однако требуется и разработка принципиально новой техники. В частности, необходимо приспособление, позволяющее проводить полную выемку железомарганцевых корок на их полную мощность с фиксированной площади. Эта площадь, по сегодняшним представлениям, должна быть размером не менее 1,0—1,5 м², что даст возможность получить пробу массой до 200—300 кг с точки, имеющей строгую привязку. Кроме того, такая установка позволит выявить наиболее высокую составляющую изменчивости мощности корок и ее реального влияния на подсчет запасов руды. Недавними работами был установлен ранг изменчивости, фиксируемый на расстоянии в первые десятки сантиметров.

Для специализированных исследований возможно применение и крупнообъемных гидравлических дночерпателей грейферного типа.

Очевидна и необходимость использования систем ROV (Remote Operated Vehicles) — телеуправляемой роботизированной техники. Такие системы могут быть

смонтированы как на плавучей, так и буксируемой платформе, оснащенной телеуправляемым двигателем. На платформе в обязательном порядке монтируются фототелевизионные системы наблюдений; набор других исследовательских средств может быть достаточно широк. Могут быть смонтированы гидроакустические системы, системы океанографических наблюдений, различные манипуляторы, позволяющие как простой сбор объектов с поверхности дна, так и отбор проб при помощи различных фрез, мини-буровых установок. По последним сообщениям, на ROV могут быть смонтированы буровые станки, позволяющие обеспечить бурение на несколько десятков метров.

Подобная техника в настоящее время разработана и успешно используется, однако решает преимущественно задачи наблюдения и профилактических работ на подводных трубопроводах, трансокеанских кабелях, подводного строительства и других. Известно также, что такие системы использовались специалистами Республики Корея при проведении детальных исследований на кобальтоносные марганцевые корки.

В настоящее время существует подобная техника и российского производства, в частности аппараты РТ-500, РТ-6000. Однако пока возможности их манипуляторов ограничены и для использования систем при разведке корок должны быть доработаны.

Наконец, при проведении разведочных работ наверняка придется прибегнуть к подводным обитаемым аппаратам (ПОА). В принципе их использование уже имело место при работе на корки, однако ПОА «Север-2», ТИПРО и «Пайсис» Института океанологии РАН применялись на стадии рекогносцировочных работ и проходили одиночные подводные маршруты. Помимо возможности детального наблюдения и фототелевизионной съемки ПОА обычно имеют возможность отбора проб при помощи манипуляторов, мини-бурового оборудования, навесных фрез, как и ROV. Возможно использование контактных методов по исследованию физических свойств руд и субстратов *in situ*. При разведке представляется нецелесообразным систематическое покрытие площадей маршрутами подводных аппаратов, важнее использовать их на наиболее проблемных уча-

стках или для решения каких-либо специфических задач при проведении специализированных исследований. Также ПОА обычно используются для мониторинга проведения сложных технических исследований, опытной добычи.

Помимо упомянутых подводных аппаратов могут быть использованы ПОА «Мир», базирующиеся на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Кроме того, в настоящее время разрабатывается ПОА «Консул», специализирующийся на производстве детальных геологоразведочных работ на глубоководные полиметаллические сульфиды и кобальтоносные марганцевые корки.

Система разведки. Поскольку строение месторождений корок является относительно простым, разведочные работы можно проводить в одну стадию, исключая предварительную разведку, а подсчет запасов производить по категории S_1 .

В связи с этим представляется, что разведочные работы можно проводить по следующей схеме. На **подготовительном этапе** выполняется батиметрическая съемка придонным многолучевым эхолотом, что обеспечивает дальнейшие работы батиметрической основой. На этом же этапе проводится геоакустическое профилирование, позволяющее уточнить контуры залежей и безрудных окон. На **основном этапе** выполняется фототелевизионное профилирование и геологическое опробование. Главным инструментом опробования, очевидно, будет бурение неглубоких скважин. В целом ориентировка сетей остается унаследованной с поисковой стадии, с необходимой корректировкой, обусловленной детализацией представлений о рельефе дна и строении рудных тел, полученными на предыдущем этапе. Основная сеть профилей также разбивается вкрест склона, но на разведочной стадии необходимы и связующие профили, ориентированные вдоль изобат.

Плотность сети, по предварительным представлениям, должна определяться отдельно для каждой рудной залежи или группы однотипных залежей. Плотность может быть определена экспериментально путем переразведки характерного участка залежи и последующих расчетов по вариантам разряжения се-

тей. Возможно определение параметров сети и методами математической статистики. Для этого необходимо пройти профили вкрест и вдоль основных структур залежи (соответственно вкрест и вдоль склона) с достаточно плотным расположением скважин, после чего по полученным данным строятся вариограммы и определяются зоны влияния проб, исходя из которых и выбирается шаг сети. Уже проведенные расчеты показывают, что изменчивость мощности корок — основного параметра, определяющего изменчивость количества руды на единицу площади, — вкрест склона может быть в несколько раз выше, чем вдоль него. В некоторых случаях зона влияния достигает первых километров, но в общем случае, скорее всего, не превышает первых сотен метров.

В любом случае плотность сети должна обеспечить решение задач по полноте изучения строения и состава рудных залежей, качества и свойств руд, подсчета запасов по категории C_1 .

Упомянутые пробоотборники, обеспечивающие отбор площадных проб, могут быть использованы по более редкой сети с целью детализации представлений о строении и составе корок, высоких рангов изменчивости оценочных параметров.

На **детализационном этапе** производится доизучение наиболее сложных участков месторождения. С этой целью могут быть сгущены сети опробования или применены площадные пробоотборники, ROV, подводные обитаемые аппараты.

На этом этапе также должна быть проведена опытная добыча руды с целью испытаний глубоководного добычного комплекса и решения следующих задач:

- испытание технических средств добычи и определение технологических показателей всех систем комплекса на участках с различными горно-геологическими условиями и параметрами оруденения;
- определение величины эксплуатационных потерь и разубоживания руд;
- разработка систем мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды.

В 2005 – 2006 гг. опытная добыча проведена японскими исследователями. При всей отрывочности све-

дений о конструкции испытанной системы и методики проведения испытаний известно, что для различных режимов работы установки коэффициенты разубоживания руд породами подстилающего субстрата составляют 17 и 41 %.

Специализированные работы выполняются на всем протяжении разведочных работ. Задачи инженерно-геологических исследований существенно расширяются. На поисковых работах о горно-геологических условиях были получены наиболее общие принципиальные представления. На стадии разведки эти условия должны быть изучены конкретно, применительно к каждому рудному телу разведываемого месторождения, с детальностью, обеспечивающей проектирование эксплуатационных работ. О методиках их проведения пока судить рано. Есть представления, что будет достаточно детального изучения материала, получаемого при рядовом опробовании месторождения, проведения на нем дополнительных лабораторных испытаний, материалов косвенных и опосредованных методов. Однако не исключено, что придется разрабатывать стенды, позволяющие определять некоторые инженерно-геологические параметры непосредственно на морском дне. Появляется и еще один важный дополнительный аспект. Горно-геологические условия будут необходимо изучить не только в пределах рудных тел, но и на крупных безрудных участках, приуроченных к зонам развития карбонатных осадков на вершинных поверхностях, крупных ступенях и других формах рельефа. Дело в том, что они могут быть использованы для проведения вспомогательных технологических операций при эксплуатации месторождения, например для развертывания систем добычного агрегата, промежуточного складирования руд и других.

Проведение экологических исследований является одним из обязательных требований МОД ООН к работам разведочной стадии. Их целью является изучение гидрохимических, гидробиологических и гидрофизических параметров вод и морского дна до начала эксплуатационных (включая опытную добычу) работ. По результатам исследований составляется паспорт океанической толщи над месторождением.

Проведение экологических работ на стадии разведки проводится в соответствии с руководящими рекомендациями МОД. В настоящий момент они разработаны только для разведочных работ на конкреции, однако можно полагать, что в обязательный состав на корки войдут следующие виды работ:

- фототелевизионное профилирование, позволяющее фиксировать временные биологические и седиментационные явления в донной экосистеме, изучить распределение в пределах месторождения, заповедного и эталонного полигонов представителей различных таксонов бентоса и придонного нектона;
- гидрозондирование с отбором проб морской воды — для изучения структуры водной толщи; удельная электропроводность, температура, давление, прозрачность измеряются STD-зондом;
- измерение течений для характеристики гидрологических особенностей океанской толщи;
- постановка седиментационных ловушек для характеристики седиментационного материала в потоке промежуточных вод и в потоке на дно;
- изучение планктона, бактериальной массы, макро-, мега- и мейобентоса;
- химический анализ морской воды, используются результаты химических анализов рудных образований и субстрата;
- создание базы экологических данных.

Экологические исследования производятся в различные сезоны и различное время суток.

Обработка материалов. Не будем подробно останавливаться на этом вопросе. При проведении геологической документации и опробовании, с одной стороны, общие принципы всегда сохраняются, с другой — аспекты, которые возникнут в связи с применением новых технических средств, пока не ясны. В любом случае все полученные материалы должны быть подвергнуты всем необходимым видам лабораторных исследований, а в период проведения камеральных работ должны быть построены все необходимые карты, обобщены и проанализированы все имеющиеся материалы.

Один из наиболее важных компонентов камеральной обработки — подсчет запасов. Мы уже упоминали,

что в связи с не очень сложным строением месторождений достаточно будет произвести подсчет по категории C_1 . Это, однако, не означает, что по такой категории будут подсчитаны запасы всего месторождения. На отдельных участках запасы будут соответствовать категории C_2 , а на некоторых и вовсе будут оценены ресурсы категории P_1 . Допустимые соотношения объемов запасов разных категорий и ресурсов регулируются нормативными документами.

Скорее всего, подсчет запасов будет производиться методом геологических блоков. Для этого подсчетные блоки должны характеризоваться сходством оценочных характеристик и горно-геологических условий. То есть имеет смысл выделять блоки, приуроченные к субгоризонтальным и слабонаклонным поверхностям и к склоновым поверхностям. С другой стороны, если нельзя избежать включения в блок площадей с различными характеристиками, при подсчете запасов придется применять метод ближайшего района или другие методы, учитывающие зоны влияния проб.

По завершении разведочных работ составляется «Отчет о геологическом строении месторождения с подсчетом запасов кобальтоносных марганцевых корок по категориям C_1 и C_2 и оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 ».

Наиболее важным документом, подводящим итог разведочных работ, является «Технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных кондиций».

Следует также иметь в виду, что при выполнении разведочных работ, поскольку они производятся в Международном районе океанского дна, в первую очередь соблюдаются все правила и требования, вытекающие из Конвенции ООН по морскому праву и предъявляемые МОД ООН. Перед этим органом производится поэтапная и окончательная отчетность о результатах проведенных работ. Однако помимо требований МОД необходимо выполнять требования Государственной комиссии по запасам (ГКЗ) РФ, поскольку разведанные месторождения пополняют сырьевую базу России. В настоящее время продолжают преобразование этого органа и окончательно не определены его новые функции, однако постановку запасов на учет, по-видимому, придется производить именно в ГКЗ.

Список литературы

1. Авдонин В.В., Кругляков В.В., Пономарева И.Н., Титова Е.В. Полезные ископаемые Мирового океана (основные типы твердых полезных ископаемых): Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2000. 160 с.
2. Батулин Г.Н. Руды океана. М., 1993.
3. Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность. М.: Наука, 1995. 368 с.
4. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. Варшава: INTERMORGEО, 1990.
5. Казмин Ю.Б., Волков А.Н., Глузов И.Ф. и др. Международно-правовые и экономические проблемы поиска, разведки и освоения минеральных ресурсов глубоководных районов Мирового океана. Геленджик, 1989.
6. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУГП ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
 Введение 5

Глава 1

Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых 7

1.1. Общие сведения о геолого-промышленных типах 7
 1.2. Геолого-промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых 10
 1.3. Геолого-промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых 55

Глава 2

Поиски полезных ископаемых 77

2.1. Геологическое обоснование постановки поисков и стадии поисковых работ 77
 2.2. Геологические предпосылки поисков 85
 2.3. Поисковые признаки 94
 2.4. Прогнозно-поисковые модели месторождений 106
 2.5. Методы поисков 113
 2.6. Комплексирование методов. Прогнозно-поисковые комплексы 148
 2.7. Обработка и интерпретация первичного материала при поисках месторождений полезных ископаемых 155
 2.8. Условия и обстановки ведения поисков 179
 2.9. Оценка результатов поисковых работ 185

Глава 3

Разведка месторождений полезных ископаемых	192
3.1. Месторождения полезных ископаемых как объекты разведки	192
3.2. Задачи разведки и стадии разведочных работ	218
3.3. Технические средства разведки	221
3.4. Принципы разведки	225
3.5. Методы разведки	228

Глава 4

Опробование	249
4.1. Опробование рудных месторождений	251
4.2. Обработка и сокращение химических проб	271
4.3. Достоверность и представительность проб	273
4.4. Контроль опробования	274

Глава 5

Основы классификации запасов	280
------------------------------------	-----

Глава 6

Требования промышленности к минеральному сырью (кондиции)	297
6.1. Минимальное промышленное содержание	299
6.2. Бортовое содержание	302

Глава 7

Подсчет запасов	307
7.1. Оконтуривание рудных тел	308
7.2. Определение параметров для подсчета запасов	316
7.3. Способы подсчета запасов	320
7.4. Точность подсчета запасов	335

Глава 8

Геолого-экономическая оценка месторождений	338
8.1. Потери при добыче	340
8.2. Разубоживание	340
8.3. Извлечение металлов при обогащении	341

8.4. Извлечение металла при металлургическом переделе	342
8.5. Производительность предприятия и срок эксплуатации месторождений	343

Глава 9

Компьютерное моделирование месторождений в геостатистический подсчет запасов	346
9.1. Трехмерное компьютерное моделирование месторождений	349
9.2. Координаты в трехмерном пространстве	351
9.3. Точка наблюдения и перспективное изображение	355
9.4. Графические примитивы (простейшие элементы)	360
9.5. Поверхности и тела	362
9.6. Горные выработки	364
9.7. Графические документы	367
9.8. Некоторые математические задачи трехмерного моделирования месторождений	367
9.9. Порядок создания трехмерной модели	373
9.10. Геостатистические методы подсчета запасов	390
9.11. Вариограммы	398
9.12. Типы вариограмм	406
9.13. Анизотропия	412
9.14. Модельные функции вариограмм	418
9.15. Структурный анализ	426
9.16. Задачи интерполяции, гридинг	428
9.17. Методы интерполяции	429

Глава 10

Поиск и разведка месторождений окислительных железомарганцевых руд	443
10.1. Ресурсы твердых полезных ископаемых Мирового океана	444
10.2. Железомарганцевые конкреции абиссальных котловин	451
10.3. Кобальтоносные железомарганцевые корки подводных поднятий	495